©SCIENCES ET AVENIR

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

L'AVANT Big Bang

Découvertes sur les origines quantiques de l'Univers p.36

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 909 - NOVEMBRE 2022 - L'AVANT BIG BANG

L 13418 - 909 - F: 5,30 € - RD

NOVEMBRE 2022 - N° 909 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5.70 € / GRÈCE 5.70 € / LUXEMBOURG 5.70 € / BELGIQUE 5.70 € / ESPAGNE 5.70 € / DOM 5.90 € / DOM-AVION 7.90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5.70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8.60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

EST. 1873
Recyclable
Heineken
EST. 1873
Heineken®
Dans les canettes Heineken®,
tout ce qui ne se boit pas se recycle.
Déposons-les dans le bac de tri.
En savoir plus sur heineken.com/fr/fr/nos-engagements
PUBLICIS CONSEIL RCS Nanterre 414 842 062
L'ABUS D'ALCOOL EST DANGEREUX POUR LA SANTÉ, À CONSOMMER AVEC MODÉRATION.

ÉDITORIAL

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

BERNARD MARTINEZ

L'océan, notre avenir

Un incendie peut en cacher un autre. Si nous avons suivi avec effroi les feux en Gironde, on sait moins que, cet été, ont eu lieu de graves incendies… sous la mer. Oui, c'est ce terme qu'emploient les spécialistes du monde sous-marin de l'Office français de la biodiversité, Ifremer, CNRS, Sorbonne Université, université de Toulouse, fondation Tara Océan… Horrifiés quand ils découvrent, en plongée, des gorgones rouges mortes jusqu'à 30 mètres de profondeur en Méditerranée, brûlées par la vague de chaleur qui a particulièrement saisi l'ouest de la grande bleue *(lire p. 20)*.

Seconde chance. Sur les bords de la Manche, à Cherbourg-en-Cotentin puis à Saint-Vaast-la-Hougue, c'est justement à la protection indispensable de l'océan que *Sciences et Avenir–La Recherche*, avec notre partenaire le groupe *Les Échos-Le Parisien*, a voulu consacrer en octobre un nouvel événement nommé Grand Océan, soutenu par toutes les collectivités locales. Dans le spectaculaire bâtiment art déco de la Cité de la mer, « monument préféré des Français » cet automne 2022, le plongeur et conteur François Sarano a soulevé l'enthousiasme de ses auditeurs. L'océan nous donne une seconde chance, dit-il.

70 % de la surface de la Terre. La chance ? Celle d'agir sur terre pour mieux préserver celui qui recouvre 70 % de la surface du globe. Si nous faisons le constat du réchauffement de l'atmosphère, il est en effet urgent de considérer cette gigantesque masse d'eau avec son extraordinaire biodiversité. Commencer par lui dire « merci », comme l'énoncent les « six sages » conviés par *Sciences et Avenir-La Recherche* à formuler une déclaration marquant un nouvel engagement.

Poumon essentiel. Merci au « *grand régulateur du climat qui capte un tiers des émissions de gaz carbonique et absorbe 93 % de l'excès de chaleur dû au réchauffement climatique. C'est un poumon essentiel de la vie sur Terre* », a souligné le célèbre explorateur Jean-Louis Étienne, bientôt en route vers l'Antarctique, en dévoilant la « Déclaration de Grand Océan »*. Régénérer et sauver l'océan, égoïsme bien compris, c'est nous sauver nous-mêmes.

« Éduquer, c'est la clé. » *Homo sapiens*, avec un peu d'humilité, se souviendra que la vie est née de l'océan. Que faire ? Continuer à informer, comme nous le réalisons dans nos magazines, et donner une éducation qui fasse large place à l'océan. Il est essentiel de le « *comprendre et le faire aimer, dès la petite enfance* », insistent les sages Anne Quéméré et Catherine Chabaud, navigatrices, l'ancien président du Muséum national d'histoire naturelle Gilles Bœuf, le président du Conseil scientifique international sir Peter Gluckman et le chef cuisinier Olivier Roellinger — pas question de voir les huîtres disparaître par acidification des eaux !

Bien commun. L'appel est clair et le défi immense d'« *agir personnellement et collectivement au quotidien pour régénérer les rivières, les mers et l'océan* ». À la mesure de l'océan, bien commun planétaire, notre avenir et source d'espoir. ■ @dominiqueleglu

*sciav.fr/909grandocean

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« James-Webb : les premières images d'une nouvelle ère »

(*Sciences et Avenir-La Recherche* n° 907, septembre 2022)

Dans votre article sur les premières images du télescope James-Webb, vous dites que si le résultat de la découverte d'une galaxie apparue seulement 250 millions d'années après le Big Bang était confirmé, ce serait 150 millions d'années de moins que pour GN-z11, la galaxie la plus jeune connue à ce jour. Ne devrait-on pas dire au contraire que GN-z11 est la galaxie la plus ancienne connue à ce jour ?

Michaël Zanon

S. et A. : Même si l'image de GN-z11 a mis plus de 13 milliards d'années à nous parvenir, ce qui en fait aujourd'hui une galaxie très ancienne (mais que nous ne voyons pas), nous l'observons telle qu'elle était 400 millions d'années après le Big Bang, très proche de sa formation. C'est donc bien la « photo » de la galaxie la plus jeune jamais observée.

Charbon végétal

Dans l'article intitulé « Biochar, le nouvel or noir » (n° 908), je me demande si ces chercheurs n'ont pas réinventé l'eau chaude, en l'occurrence la *terra preta* amazonienne !

Jean Munch

S. et A.: La *terra preta* amazonienne est effectivement une terre riche en carbone, mais qui semble issue de processus naturels. Elle ressemble d'ailleurs aux « terres noires » que l'on retrouve sur les sites archéologiques des villes médiévales en Europe, ces espaces fertiles pouvant correspondre à des décharges. Le biochar est un processus industriel très différent.

Mauvais pivert

Le pivert n'a pas eu droit à sa photo dans la brève page 16 du n° 908 ! Sauf erreur, la photo montre un pic ouentou, *Hylatomus lineatus*, une espèce américaine… Cela dit, merci pour ce nouveau numéro : toujours passionnant !

Patrick Dorléans

S. et A.: C'est en réalité un grand pic *(Dryocopus pileatus)* qui figure en illustration de la brève qu'il est bien difficile de distinguer du pic ouentou *(Dryocopus lineatus ou Hylatomus lineatus)* en effet. L'erreur se trouve en réalité dans le texte, qui utilise le nom usuel de l'espèce vivant sous nos latitudes, le pivert, comme terme générique pour désigner la famille des *Picidae*. Celle-ci comprend pas moins de 234 espèces.

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Remonter avant le temps

« *Comme l'avait prédit Einstein…* » Force est de le constater, la théorie de la relativité générale est d'une efficacité redoutable et ne cesse d'être confirmée. Nouvelle preuve ce mois-ci, avec les résultats d'une expérience dans l'espace qui aura duré six ans et qui permet de confirmer, avec une précision inédite, que, oui, comme l'avait prédit cette théorie, une plume tombe à la même vitesse qu'une bille de plomb dans le vide *(p. 14)*. Un succès insolent qui ne manque pas aussi de frustrer les physiciens, toujours en quête d'une anomalie qui pourrait ouvrir la voie à de nouvelles théories. Heureusement, il est toujours des esprits ambitieux, un peu iconoclastes, qui rêvent d'aller plus loin qu'Einstein. Nous l'avons raconté en détail à propos de la gravitation dans notre n° 900 en février dernier. Nouvelle preuve ce mois-ci avec le prix Nobel de physique décerné à Alain Aspect, John Clauser et Anton Zeilinger *(p. 8)*. Chacun leur tour, ils ont mis au point des expériences qui ont permis de montrer un phénomène auquel Einstein ne croyait pas : deux photons intriqués, même très éloignés l'un de l'autre, continuent à former un tout.

> « Heureusement, il est toujours des esprits ambitieux, un peu iconoclastes, qui rêvent d'aller plus loin qu'Einstein »

Einstein ne pouvait croire non plus à un avant-Big Bang, puisque selon la théorie de la relativité générale, l'espace et le temps sont nés à cet instant *(p. 36)*. Pourtant, dans notre dossier, nous vous racontons comment certains chercheurs travaillent inlassablement à inventer une nouvelle physique qui permettrait d'envisager l'existence d'un autre univers précédant le nôtre. Puis de chercher les traces qu'il aurait laissées. Un voyage dans une machine à remonter avant le temps en somme. De voyage, il en est aussi question avec le *Kamak*, un voilier qui a mis le cap sur le Groenland et à bord duquel *Sciences et Avenir-La Recherche* a embarqué pour accompagner une équipe de chercheurs sur les traces du légendaire commandant Charcot *(p. 52)*. Il y a cent ans, l'explorateur y récoltait pour la première fois des échantillons de roches et autres fossiles. Chose incroyable, la plupart de ces trésors ont été « oubliés » dans les réserves du Muséum national d'histoire naturelle et viennent d'être redécouverts. D'où l'idée de la mission Greenlandia : retourner aux mêmes endroits pour poursuivre le travail scientifique entamé alors. Et avec les enseignements du passé, préparer cette fois l'avenir. ■ @mathieu_nowak

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15

Rédaction en chef hors-série Vincent REA - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la rédaction en chef
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de la rédaction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Bernadette ARNAUD, Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, Claire MATHIEU
Ont participé à ce numéro P. BERLOQUIN, F. NOIRIT, P. KALDY, M. PARRA
Secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines
Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON

Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité Emmanuel LALA - 01.44.88.89.28
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63

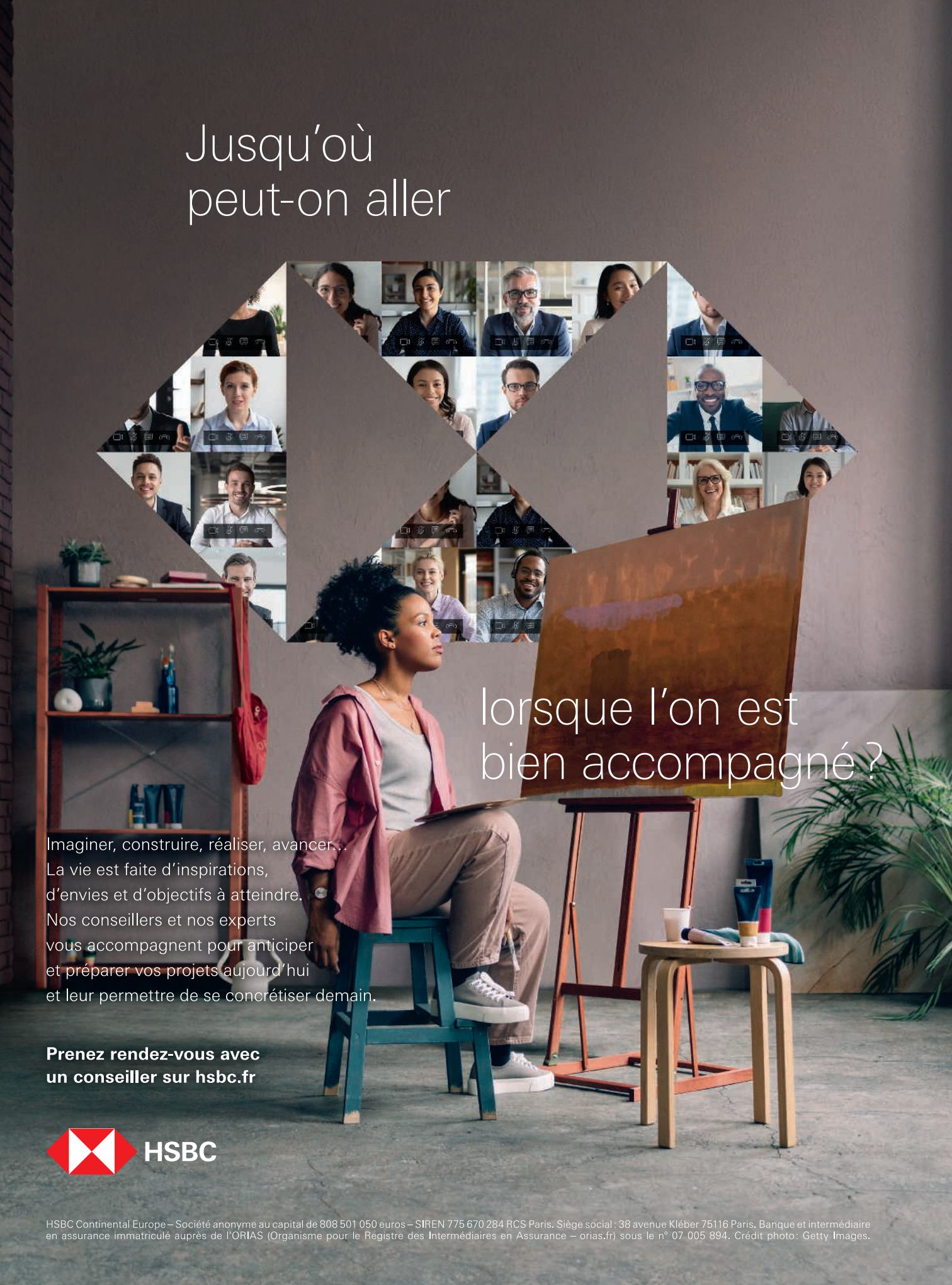
Les Éditions Croque Futur
Président, directeur de la publication Claude PERDRIEL
Directeur général Philippe MENAT
Directeur éditorial Maurice SZAFRAN
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL

Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,014 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org
FR
ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte les encarts « Coffret montre et bracelet Vuillemin Regnier-Sophia Boutique » ,« Atlas Historique de la Terre-Sophia Boutique » et « L'Homme Moderne-jeans » jetés sur couverture sur toute la diffusion abonnés ; les messages « Psychologies » et « First voyages » ainsi qu' une lettre de « bienvenue aux abonnés » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés ; et un encart « Croisières » broché en pages 34-35.. Commission paritaire n° 0625 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Jusqu'où peut-on aller



lorsque l'on est bien accompagné ?

Imaginer, construire, réaliser, avancer…
La vie est faite d'inspirations,
d'envies et d'objectifs à atteindre.
Nos conseillers et nos experts
vous accompagnent pour anticiper
et préparer vos projets aujourd'hui
et leur permettre de se concrétiser demain.

Prenez rendez-vous avec un conseiller sur hsbc.fr

HSBC

HSBC Continental Europe – Société anonyme au capital de 808 501 050 euros – SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance – orias.fr) sous le n° 07 005 894. Crédit photo : Getty Images.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 909 / Novembre 2022

DOSSIER P. 36

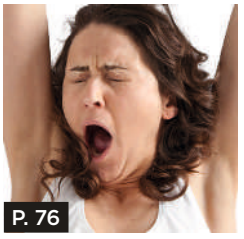
Avant le Big Bang

Qu'y avait-il avant cet instant « 0 » qui a marqué le début de notre univers il y a 13,8 milliards d'années ? Un autre univers dont le Big Bang ne serait que l'aboutissement d'une phase de contraction ? Ou encore une infinité d'univers différents existant en même temps ? Les physiciens multiplient les théories.

P. 52

Groenland : dans le sillage de Charcot

« Sciences et Avenir-La Recherche » a embarqué en août sur les traces du commandant Charcot avec la mission scientifique Greelandia, dans le plus grand fjord de la planète.



P. 76

Le bâillement, mystérieux gardien de la vigilance

Pourquoi bâille-t-on ? Selon les dernières études, ce comportement réflexe agirait comme un stimulateur pour se reconnecter à notre environnement.

P. 82

Herculanum, au cœur du théâtre souterrain

Détruite en même temps que Pompéi lors de l'éruption du Vésuve en 79, la cité d'Herculanum abrite un théâtre antique à 25 m de profondeur. Reportage en baie de Naples.

3 **Éditorial** par Dominique Leglu

4 **Courrier**

5 **Édito** par Mathieu Nowak

PRIX NOBEL

8 **Les lauréats 2022**

SCIENCES FONDAMENTALES

12 **ACTUALITÉS** La mission Dart a dévié l'astéroïde Dimorphos / Un nouveau minéral découvert sur la Lune

48 **Et l'IA transforma les mots en pixels**

NATURE

18 **ACTUALITÉS** Les forêts urbaines devront s'adapter au climat / Dans la tête des chiens

52 **Groenland : dans le sillage des expéditions de Charcot**

60 **La France se prépare à un tsunami en Méditerranée**

64 **L'origine de la toxicité des champignons a été identifiée**

SANTÉ

24 **ACTUALITÉS** Alzheimer : le déclin cognitif enfin ralenti / La méthode scientifique pour endormir un bébé

70 **Santé globale : les algorithmes décuplent le pouvoir de l'imagerie**

76 **Le bâillement, mystérieux gardien de la vigilance**

80 **Nutrition : le pois chiche, roi des légumineuses**

HISTOIRE

30 **ACTUALITÉS** Une 6e espèce humaine a coexisté avec « sapiens » / Un dinosaure retrouvé avec sa peau

82 **Herculanum : plongée au cœur du théâtre souterrain**

88 **Toutankhamon: il y a 100 ans, la plus extraordinaire des découvertes**

TRANSVERSALES

98 **Sélection livres**

100 **Expositions**

101 **Le ciel de novembre**

102 **Chroniques**
Climat par Christophe Cassou et Céline Guivarch / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

104 **Questions de lecteurs**

105 **Jeux**

ILLUSTRATION BY MONDOART.NET - YANN CHAVANCE/GREENLANDIA - PLAINPICTURE - RICCARDO SIANO

PHYSIQUE

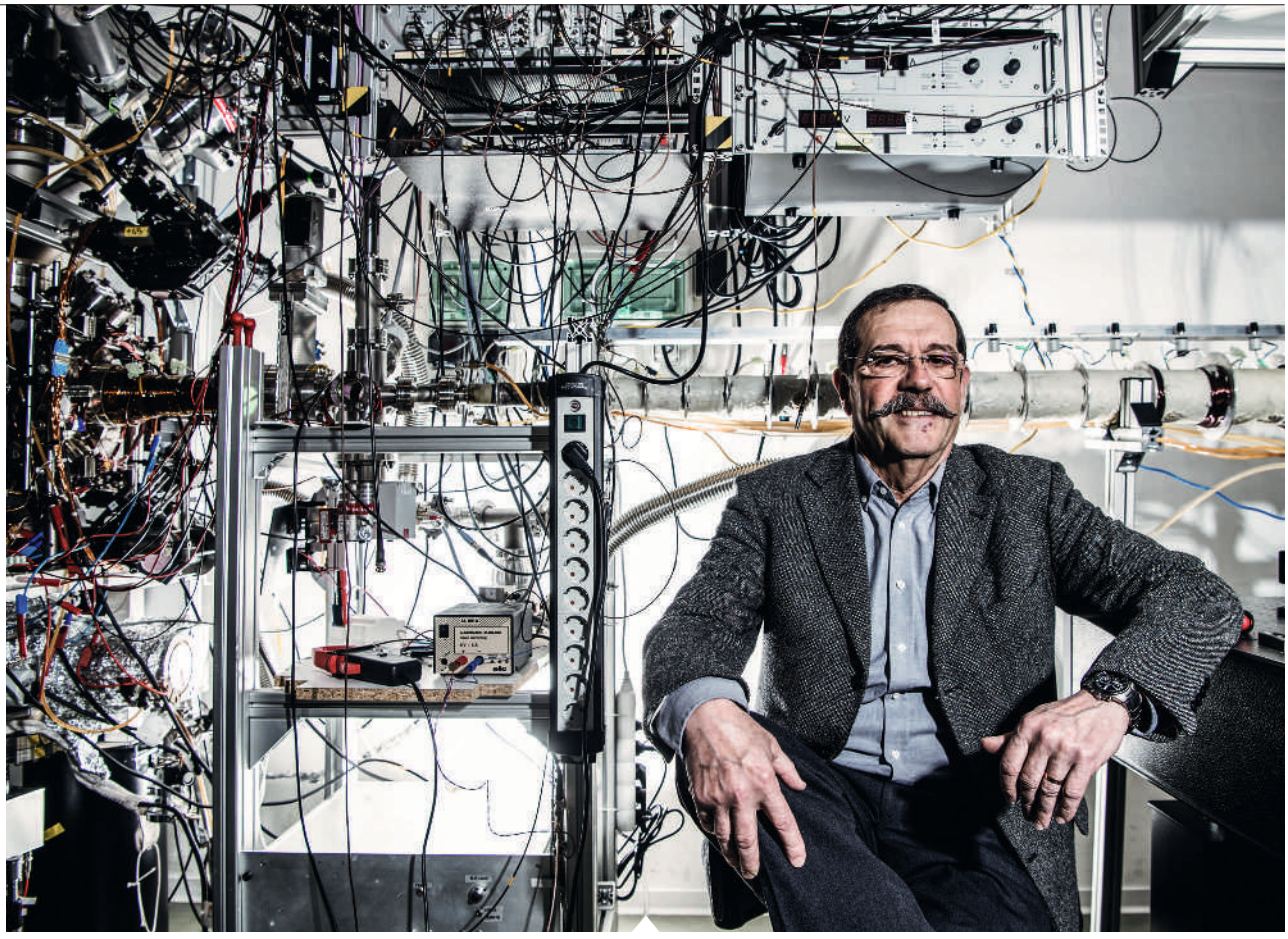
Alain Aspect et la deuxième révolution quantique

Avec l'Américain John F. Clauser et l'Autrichien Anton Zeilinger, le chercheur français s'est vu récompenser pour ses expériences avec des photons intriqués. Rencontre avec un pionnier de la physique quantique.

La question revenait avec insistance en France lors de la saison des Nobel : le physicien Alain Aspect allait-il enfin décrocher la plus haute distinction scientifique ? Il faut dire que ses expériences fondatrices, qui ont ouvert la voie à ce que l'on appelle la deuxième révolution quantique, ont été réalisées il y plus de quarante ans, entre 1980 et 1982, à l'Institut d'optique d'Orsay — la première révolution ayant établi, au début du XX^e^ siècle, que tout objet physique peut avoir les propriétés d'une onde comme d'un corpuscule, et par la suite a permis l'avènement des transistors ou des lasers. Cette année est la bonne : avec l'Américain John F. Clauser et l'Autrichien Anton Zeilinger, les trois hommes se sont vu décerner le prix Nobel de physique pour leurs « *expériences avec des photons intriqués, établissant la violation des inégalités de Bell et ouvrant la voie à la science de l'information quantique* ». En clair, les expériences successives des trois physiciens ont permis de démontrer que deux particules dites intriquées conservent un lien, quelle que soit la distance à laquelle elles ont été physiquement séparées. *Sciences et Avenir–La Recherche* a rencontré Alain Aspect qui réagit à l'annonce de ce prix et revient sur son parcours, qui n'avait rien de quantique quand il a commencé la physique.

Quelle a été votre première réaction à l'annonce de votre prix ?
Je pense d'abord à tous ceux qui l'ont rendu possible, à commencer par mon professeur de physique au lycée d'Agen, qui m'a donné le goût de cette discipline, ainsi qu'aux nombreux enseignants et collègues. Mais aussi en particulier aux étudiants, car lorsqu'on enseigne, on doit expliquer, et ainsi l'on comprend mieux ce sur quoi on travaille. Et je pense également à John Bell, qui a écrit les inégalités qui ont permis de trancher la controverse Einstein-Bohr [le premier ne croyant pas qu'en présence d'une paire de photons dits intriqués, modifier l'état de l'un conduisait instantanément à modifier l'état de l'autre].

Au début des années 1970, vous êtes agrégé de physique et vous vous apprêtez à vous lancer dans une thèse. Que savez-vous alors de la physique quantique ?
Pas grand-chose ! J'ai eu une formation très classique à l'université d'Orsay [aujourd'hui université Paris-Saclay] et



WILLIAM BEAUCARDET

Les expériences du physicien Alain Aspect, 75 ans (ici en 2019), en démontrant en 1981 et 1982 que deux particules restaient liées même à distance, ont ouvert la voie à la science de l'information quantique.

à l'École normale supérieure de Cachan [ENS Paris-Saclay], dans laquelle il y avait très peu de physique quantique. Mais durant mon séjour au Cameroun en tant que coopérant, j'ai eu la chance de lire *Mécanique quantique*, de Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu et Franck Laloë, qui est un manuel à la fois simple et profond de physique quantique : cela a été une révélation. Je m'en suis nourri tout seul, sans l'influence d'un professeur qui m'aurait peut-être dit qu'Einstein s'était trompé.

Les autres lauréats

(de gauche à droite)

John Clauser, 81 ans, États-Unis, J. F. Clauser & Assoc.
Anton Zeilinger, 77 ans, Autriche, université de Vienne.

Comment entrez-vous en scène ?

J'étais à la recherche d'un sujet pour ma thèse. Un jeune professeur à l'Institut d'optique, Christian Imbert, me confie alors une série d'articles, dont celui de John Bell publié dans une revue quasi inconnue. Sa lecture a été un choc, et la perspective de monter une expérience pour trancher une question qui semblait de nature philosophique m'a fasciné. Christian Imbert était très ouvert. Il m'a dit : *« Va voir John Bell au Cern à Genève où il travaille, et s'il trouve que ça vaut la peine, tu pourras mener l'expérience dans mon laboratoire. »* Ce qui s'est passé. Mais beaucoup pensaient que cette recherche n'avait aucun intérêt. On m'a dit au départ : *« Tu perds ton temps, on sait que la physique quantique, ça marche. »* Mais j'ai eu la possibilité de donner des séminaires pour expliquer l'intérêt des travaux de Bell et des expériences qui en découlent, et de plus en plus de gens s'y sont intéressés.

Quel était le principal défi de cette expérience ?

Elle repose sur une source de photons intriqués — des photons considérés comme un tout unique — et deux polariseurs orientables, qui vont permettre aux photons de les traverser ou les bloquer, selon leur état, et des détecteurs. Le problème principal était de disposer d'une source efficace de photons intriqués. Aux États-Unis, des chercheurs étaient parvenus, de manière très laborieuse, à produire quelques paires, cela prenait des jours et des jours. J'ai eu la possibilité d'utiliser des lasers, alors en plein déve-

AFP

loppement, pour obtenir une source plus petite et intense. Avec deux ingénieurs, j'ai mis cinq ans pour la mettre au point, avant d'être rejoint par deux étudiants qui commençaient une carrière qui allait être brillante : Philippe Grangier et Jean Dalibard [professeur au Collège de France, qui a reçu la médaille d'or du CNRS en 2020].

Quels résultats avez-vous obtenus ?
J'ai commencé par reproduire les premières expériences de l'équipe de John Clauser, avec une bien meilleure précision, puis, en 1982, j'ai utilisé des polariseurs d'un nouveau type et des commutateurs que j'ai dû construire moi-même. Les deux polariseurs et les détecteurs étaient situés à 12 mètres l'un de l'autre. Pour démontrer sans ambiguïté la « non-localité quantique » — c'est-à-dire le fait que la mesure de l'état d'un des photons jouait instantanément sur celui de l'autre —, je changeais l'orientation des polariseurs au dernier moment, afin qu'aucune influence ne puisse affecter l'autre polariseur, sauf à voyager plus vite que la lumière. Cette expérience a finalement montré que deux photons, même éloignés de 12 mètres, semblent s'influencer à distance de manière instantanée et que la non-localité quantique existe bel et bien. Ce n'est qu'en 1988 que l'expérience a été reproduite, en Autriche, par l'équipe d'Anton Zeilinger, tandis qu'en Suisse une équipe montrait que la non-localité survit à une distance de 30 kilomètres ! [Anton Zeilinger a ensuite mis en œuvre la téléportation quantique qui est à la base des systèmes de communication quantique.] Attention, cela ne signifie pas pour autant qu'on peut transmettre un signal utilisable plus vite que la lumière. La démonstration est subtile, elle met en jeu le caractère probabiliste de la théorie quantique. La boucle est bouclée. ■

Propos recueillis par Jean-François Haït

CHIMIE

L'avènement de la chimie « facile »

Le prix a été attribué aux Américains Carolyn Bertozzi et Karl Barry Sharpless et au Danois Morten Meldal pour leur contribution au développement de la « chimie click » et de la « chimie bio-orthogonale », deux nouveaux domaines de la chimie aux applications prometteuses.

« Chimie click » et « chimie bio-orthogonale » : deux nouveaux domaines de la chimie moderne aux noms peu connus sur lesquels l'Académie royale des sciences de Suède vient de mettre un grand coup de projecteur avec le Nobel de chimie. De quoi s'agit-il ? En 2001, Karl Barry Sharpless publie un article dans lequel il décrit le concept de « chimie click » que l'on pourrait traduire par chimie facile. *« Ce premier article est une révolution conceptuelle qui s'inspire d'une observation : lorsqu'on met certaines petites unités chimiques ensemble, avec un catalyseur de cuivre, elles "cliquent"* [se lient] *d'un seul coup,* explique Frédéric Taran, chercheur au Service de chimie bio-organique et de marquage à l'institut Frédéric-Joliot (CEA, Saclay). *Il propose que des molécules complexes et fonctionnelles puissent être efficacement synthétisées à l'aide d'une approche modulaire, c'est-à-dire en assemblant des petits modules moléculaires grâce à un ensemble limité de réactions très robustes. »*

AFP / IKE SHARPLESS / AFP

Les lauréats
(de gauche à droite)
Carolyn Bertozzi, 55 ans, États-Unis, université Stanford.
Karl Barry Sharpless, 81 ans, États-Unis, Institut de recherche Scripps.
Morten Meldal, 58 ans, Danemark, université de Copenhague.

L'efficacité de cette approche est confirmée la même année par Morten Meldal. Carolyn Bertozzi veut l'adapter aux milieux biologiques. Problème : le cuivre est toxique pour les cellules vivantes. *« Elle a dès lors développé une chimie dont les réactions ne perturbent pas celles qui se produisent déjà dans les cellules,* poursuit Frédéric Taran. *C'est pour cela qu'elle la décrit comme une chimie "bio-orthogonale". »* Elle trouve ainsi la solution pour se passer de cuivre en utilisant d'autres unités chimiques. *« Tous ces travaux ont été à l'origine d'une discipline, la chémobiologie, avec des journaux et des congrès dédiés. La chimie click a déjà été utilisée pour lier une molécule qui cible une cellule cancéreuse à une molécule de chimiothérapie ou pour administrer un anticancéreux qui s'active de façon ciblée sur une tumeur. »* Un avenir prometteur désormais cautionné par la plus haute distinction scientifique pour les pionniers de la discipline. ■

Mathias Germain
@Germain41

JENS SCHLUETER / GETTY IMAGES / AFP

Svante Pääbo, 67 ans, dirige l'Institut d'anthropologie Max-Planck de Leipzig (Allemagne).

MÉDECINE

L'homme qui est parvenu à lire l'ADN de nos ancêtres

Le biologiste suédois Svante Pääbo a été honoré pour ses découvertes concernant le génome d'homininés et l'évolution humaine. En 2009, il est parvenu à séquencer le génome de l'homme de Neandertal.

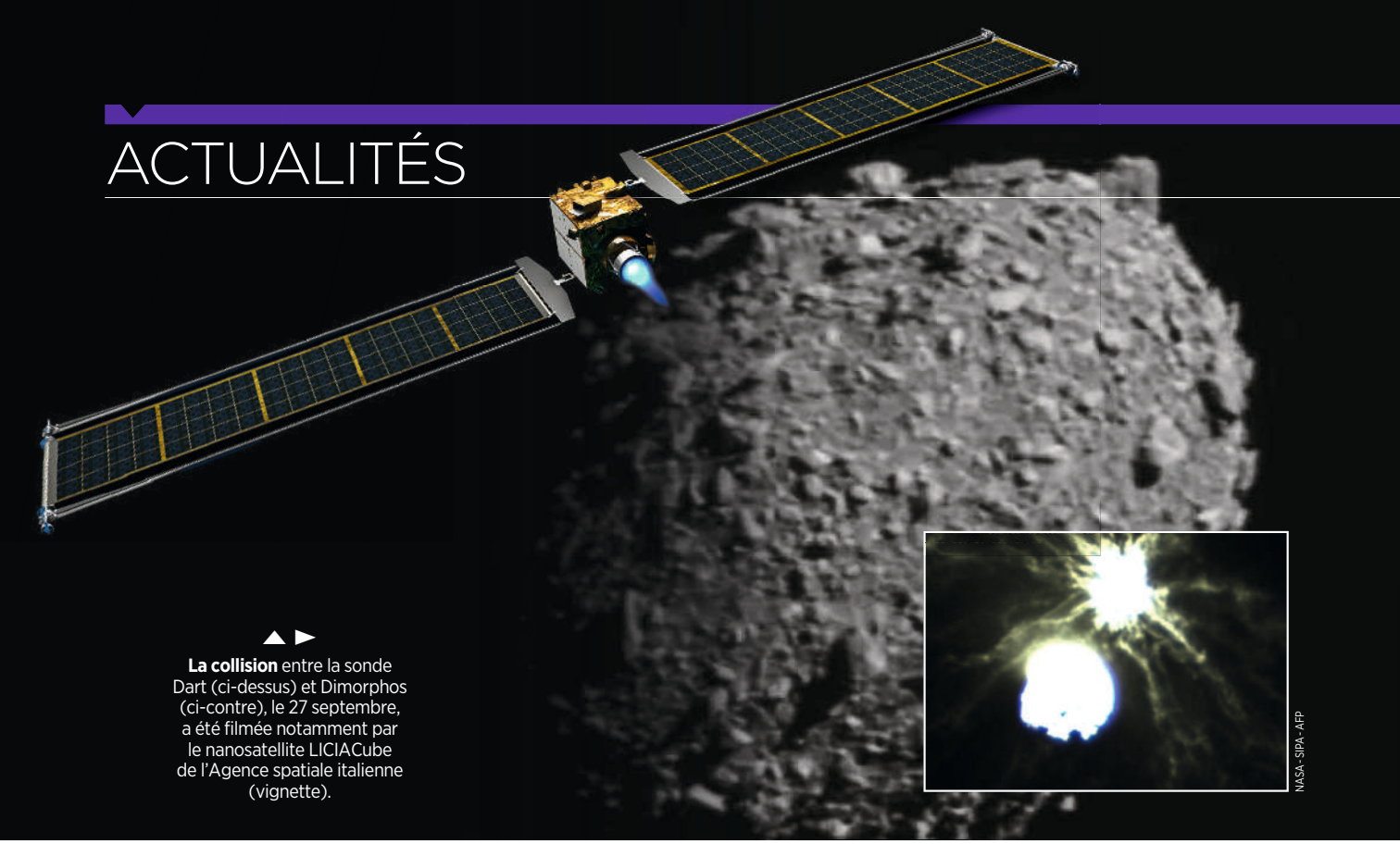
Comme pour Alain Aspect, le nom de Svante Pääbo circulait depuis des années, cette fois pour le Nobel de médecine. Le biologiste suédois Svante Pääbo se voit finalement couronner 40 ans après que le prix a été attribué à son « père caché », le biochimiste suédois Sune Bergström (1916-2004). « Caché » car le scientifique est né d'une relation extraconjugale et porte le nom de sa mère, la biochimiste estonienne Karin Pääbo.

Actuellement directeur de l'Institut d'anthropologie Max-Planck de Leipzig (Allemagne), Svante Pääbo a été honoré pour ses découvertes concernant le génome d'homininés et l'évolution humaine. *« En révélant les différences génétiques qui distinguent tous les humains vivants des homininés disparus, ses découvertes ont donné la base à l'exploration de ce qui fait de nous, humains, des êtres aussi uniques »*, a salué le jury du Nobel. Dans sa biographie *Neandertal : à la recherche des génomes perdus* (Les liens qui libèrent, 2015), le biologiste raconte l'épopée de la paléogénétique, discipline qu'il a largement contribué à forger depuis les années 1980. Le chercheur a d'abord analysé l'ADN de momies égyptiennes et d'Ötzi, un homme ayant vécu 3300 ans avant J.-C. et qui fut naturellement momifié dans un glacier italien. Il a aussi collecté des crottes de paresseux et des os d'ours des cavernes. Jusqu'au graal : le séquençage, en 2009, du génome de l'homme de Neandertal, à partir d'ossements récupérés à Vindija, en Croatie. Séquençage qu'il complétera un peu plus tard avec l'analyse d'un autre ADN néandertalien, celui d'une femme provenant de la même grotte.

L'homme de Denisova a pu être identifié grâce à ses travaux

Dans la foulée des scientifiques, tel Craig Venter, qui avaient décrypté le génome humain, Svante Pääbo et ses équipes se sont attaqués à un défi autrement plus compliqué : reconstituer des génomes d'homininés disparus dont l'ADN nucléaire nous parvenait incomplet et très dégradé. Fin 2006, Svante Pääbo annonçait avoir déchiffré un million de ces petites lettres — T, C, A, G — qui composent l'ADN. Un an plus tard, il parvenait à 70 millions puis, en 2009, à plus de trois milliards de lettres.

Aujourd'hui, grâce à la paléogénétique, nous savons que Neandertal et *Homo sapiens* avaient des génomes identiques à 99,5 %. Les résultats ont permis d'apprendre que nous avions une petite part d'ADN néandertalien en nous, variant de 1 % à 4 % selon les individus. Cet apport n'est pas toujours anodin. En 2020, Svante Pääbo a montré que l'ADN hérité de Neandertal pouvait aggraver les formes de Covid-19. Les travaux du généticien suédois et de son équipe ont enfin permis d'identifier en 2010 une espèce inconnue, l'homme de Denisova. Et ce à partir de la seule analyse d'une phalange d'auriculaire de la main gauche d'une fillette retrouvée dans la grotte du même nom, en Sibérie. Pour lui, une seule question subsiste : *« Tentera-t-on un jour de ressusciter Neandertal ? »* ■ **Rachel Mulot** @RachelFleaux



▲ ►
La collision entre la sonde Dart (ci-dessus) et Dimorphos (ci-contre), le 27 septembre, a été filmée notamment par le nanosatellite LICIACube de l'Agence spatiale italienne (vignette).

NASA - SIPA - AFP

La mission Dart a dévié l'astéroïde Dimorphos

Le test de défense planétaire de la Nasa a réussi à modifier la trajectoire du corps céleste grâce à une sonde kamikaze.

C'est un succès complet pour la mission Dart (« fléchette » en anglais) de l'agence spatiale américaine *(lire* S. et *A. n° 908)*. Après un voyage de dix mois dans l'espace, le 27 septembre, à 11 millions de kilomètres de notre planète, la sonde kamikaze lancée à 23 000 km/h s'est écrasée sur sa cible : le petit astéroïde Dimorphos (85 mètres de diamètre) gravitant autour du plus imposant Didymos (390 mètres de diamètre). Quinze jours plus tard, la Nasa a pu confirmer que l'impact avait bien modifié l'orbite de Dimorphos autour de Didymos de 32 minutes, celle-ci passant ainsi de 11 h 55 min à 11 h 23 min. Un écart très au-dessus du seuil minimal de réussite fixé à 73 secondes ! *« Tout s'est déroulé à merveille. Et nous disposons de très nombreuses observations »*, se réjouit Naomi Murdoch, planétologue à l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace à Toulouse, qui collabore à cette mission.

Les télescopes spatiaux aux premières loges

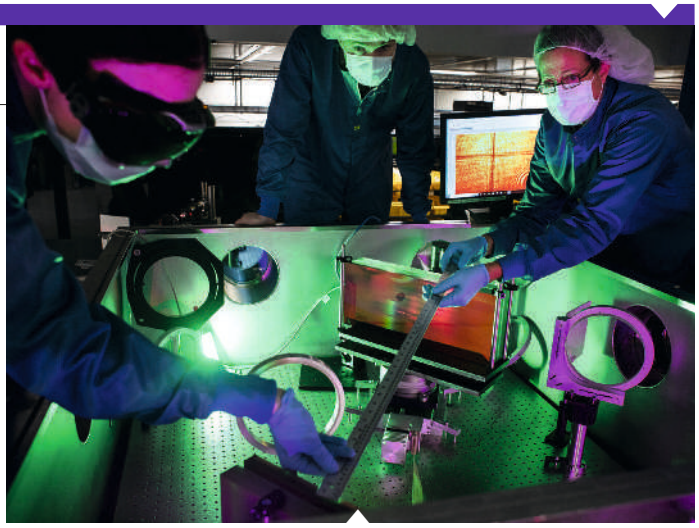
Des dizaines d'observatoires terrestres étaient braqués vers l'astéroïde et ont pu enregistrer de splendides images de la gerbe de poussières engendrée par le crash, s'étendant telle une queue de comète sur plus de 10 000 kilomètres. De l'espace, les télescopes Hubble et James-Webb ont, eux, pu « zoomer » dans le nuage de débris, l'un dans les longueurs d'onde de la lumière visible, l'autre dans l'infrarouge. Hubble a ainsi immortalisé le mouvement de la matière arrachée à l'astéroïde, dont la luminosité a triplé avant de se stabiliser huit heures après la collision. Le James-Webb a pour sa part visualisé les panaches d'éjectas, semblables à des filaments en expansion depuis la zone du crash.

« Il est maintenant important de vérifier que la modification reste constante car des phénomènes dynamiques complexes pourraient intervenir », prévient Naomi Murdoch. Mais pour reconstituer la force de l'impact et tirer toutes les leçons de ce premier test de défense planétaire, il faudra attendre 2024 et le lancement de l'orbiteur européen Hera vers Dimorphos, chargé d'une enquête complète. Grâce à une batterie de capteurs, il déterminera tous les paramètres utiles comme la masse et la structure interne de l'astéroïde ainsi que les dimensions du cratère d'impact. ■

F. D.

Le laser surpuissant Zeus s'est allumé

PHYSIQUE L'université du Michigan a démarré début octobre le laser le plus puissant des États-Unis. Baptisé Zeus (pour Zetawatt-Equivalent Ultrashort pulse laser System), il peut concentrer une puissance de 3 pétawatts (PW), égale à trois millions de gigawatts. Techniquement, il devrait même dépasser le plus puissant du monde (10 PW) mis au point par le groupe français Thales, puisqu'il sera utilisé pour simuler une puissance d'un zettawatt (1 million de pétawatts) en visant un faisceau d'électrons à haute énergie en sens inverse. **H. J.**



MARCIN SZCZEPANSKI, MICHIGAN ENGINEERING

Installé en octobre à l'université du Michigan (États-Unis), le laser Zeus devrait simuler une puissance d'un zettawatt, soit 10^{21} watts.

36 % La part de scientifiques pensant une catastrophe possible à cause des IA

Selon une enquête menée par l'université de New York (États-Unis) auprès de 327 scientifiques ayant récemment signé des travaux en intelligence artificielle, un tiers d'entre eux convient que des décisions prises par des IA pourraient provoquer des catastrophes allant jusqu'à une guerre nucléaire. Bonne nouvelle : 64 % jugent de tels scénarios improbables. H. J.

Enseigner l'algèbre aux algorithmes

MATHÉMATIQUES L'intelligence artificielle développée par Google a été entraînée par renforcement à trouver les algorithmes les plus efficaces pour résoudre les produits matriciels, des opérations à la base de l'informatique multipliant des grilles de nombres entre elles. Nommée AlphaTensor, elle devrait augmenter la puissance de calcul des superordinateurs, voire aider à résoudre des problèmes ouverts en mathématiques, selon les chercheurs. **H. J.**

SOURCE : ALHUSSEIN FAWZI, GOOGLE DEEPMIND, ROYAUME-UNI.

ABACA PRESS

Le bipède a parcouru la distance en 24,73 secondes.

Cassie, champion du 100 mètres robot

ROBOTIQUE 24,73 secondes pour courir un 100 m sur piste, sans chuter. C'est la performance de ce bipède autonome développé à l'université d'État de l'Oregon (États-Unis), officiellement validée par le *Livre Guinness des records* début octobre. Inspirée de l'autruche, Cassie n'utilise aucun capteur mais se base sur l'apprentissage par renforcement. Il apprend par essai-erreur à contrôler son équilibre et ses mouvements. Il avait déjà réussi à marcher sur 5 km ou à grimper. **(Voir la vidéo : sciav.fr/909cassie) A. D.**

Un nouveau minéral lunaire découvert

Il provient des échantillons de roches rapportés de la Lune en 2020 par la sonde chinoise Chang'e 5.

Incolore, transparent, et composé notamment d'atomes de fer, d'yttrium et de phosphore, un nouveau minéral lunaire a été baptisé Changesite-(Y), en référence à la déesse de la Lune dans la mythologie chinoise. Il a été identifié par des chercheurs de l'Institut de recherche sur la géologie de l'uranium de Pékin parmi les 1,73 kg d'échantillons de roches lunaires rapportés en 2020 par la sonde chinoise Chang'e 5. La découverte vient d'être confirmée par l'Association internationale de minéralogie. C'est seulement le sixième minéral connu à exister exclusivement sur la Lune, les autres ayant été dénichés par des missions américaines et soviétiques il y a plusieurs décennies. Prochaine étape pour la Chine : la mission Chang'e 6 qui partirait collecter des échantillons sur la face cachée pour la première fois d'ici à 2024. **F. D.**

BEIJING INSTITUTE FOR URANIUM GEOLOGY

► **Nommé Changesite-(Y),** ce minéral n'existe que sur la Lune.

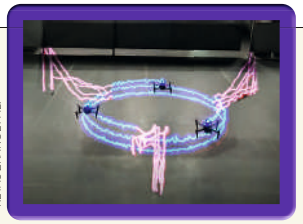
Un radiotélescope pour scruter l'Univers froid

Les 12 antennes de l'observatoire français Noema sont désormais opérationnelles.

JEFF PACHOUD/AFP

Noema, installé sur le plateau de Bure (Hautes-Alpes), est le radiotélescope millimétrique le plus puissant de l'hémisphère Nord.

Après huit années de travaux, l'observatoire Noema (North Extended Millimeter Array), le plus puissant radiotélescope millimétrique de l'hémisphère Nord, a inauguré son passage de six à 12 antennes le 30 septembre. Bâti sous l'égide de l'Institut de radioastronomie millimétrique (Iram) à 2550 mètres d'altitude, sur le plateau de Bure (Hautes-Alpes), il observe l'Univers dans une gamme de longueur d'ondes radio de 80 à 350 gigahertz *« correspondant aux émissions de l'Univers froid, quelques degrés au-dessus du 0 absolu* [-273 °C], résume Frédéric Gueth, directeur adjoint de l'Iram. *On distingue les vastes nuages moléculaires s'étirant entre les étoiles, les étoiles naissantes dans leur cocon de gaz, ou mourantes »*. Noema traque aussi les galaxies très lointaines et participera à la collaboration Event Horizon Telescope (EHT) en vue d'obtenir de nouvelles images des trous noirs M87* et Sgr A*. **F. N.**



KETAO ZHANG ET AL.

À VOIR SUR LE NET

Des drones bâtisseurs travaillent en équipe

ROBOTIQUE Travaillant en collaboration, deux drones volants se relaient pour ériger une colonne ou un dôme en projetant des couches successives de matériau. Entre deux couches, un troisième engin scanne la structure avec une caméra et les données servent aux drones à corriger leurs gestes suivants. **A. D.** SOURCE : K. ZHANG, IMPERIAL COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.

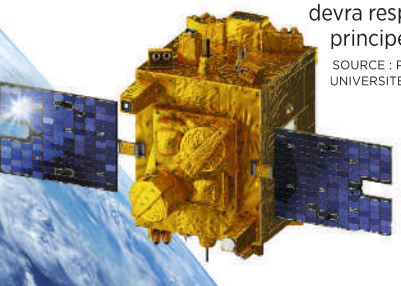
Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

Einstein avait raison pour la gravitation

PHYSIQUE Le principe d'équivalence d'Einstein, énonçant que les corps chutent dans le vide de la même façon, quelle que soit leur masse ou leur composition, a été vérifié à 10^{-15} près par le satellite Microscope du Cnes. Ce laboratoire spatial offre une estimation dix fois plus précise que celle de 2017. Désormais, toute théorie ambitionnant de modifier la relativité générale, comme certaines variantes de la théorie des cordes, devra respecter ce principe. **F. N.**

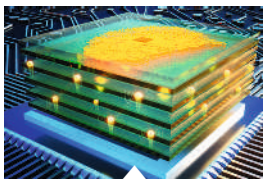
SOURCE : PIERRE TOUBOUL, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY, FRANCE.

SIPA



Le satellite Microscope a opéré un nouveau test de la chute des corps dans l'espace.

Le chaînon manquant de la communication quantique



ELLA MARU STUDIO MURAT ONEN/MIT

Des nanopiliers de silicium intégrés à la puce transmettent les données.

INFORMATIQUE Une équipe vient de mettre au point un nanocircuit de piliers de silicium capable de guider les photons adaptés aux communications quantiques. C'est la première fois que du silicium, matériau courant de l'électronique, est utilisé pour générer des photons uniques qui sont à la base des échanges quantiques, par essence protégés contre les écoutes malveillantes. Une technologie qui ouvre la voie à la création de processeurs et de réseaux quantiques évolutifs. **Ph. P.**

SOURCE : MICHAEL HOLLENBACH, INSTITUT DE PHYSIQUE DES FAISCEAUX D'IONS ET DE RECHERCHE SUR LES MATÉRIAUX, ALLEMAGNE.

Une IA prédit les mouvements dans les sports collectifs

NUMÉRIQUE Une intelligence artificielle est parvenue à prédire avec 80 % d'efficacité les mouvements des joueurs lors d'un match de volley-ball. Les algorithmes de vision par ordinateur informés des stratégies d'équipe et des règles du jeu interprètent les informations telles que la couleur du maillot, la position et la posture du corps des joueurs pour anticiper le déroulement de la partie. **H. J.**

SOURCE : JUNYI DONG, UNIVERSITÉ CORNELL, ÉTATS-UNIS.

Il y a mieux que faire surveiller votre maison par la voisine

orange™

Maison Protégée
Alarme et Télésurveillance

19 €99 /mois[1] pendant 12 mois,
puis 29,99 €/mois pour un appartement.
Engagement 12 mois.

- **Matériel inclus, sans frais d'installation[2]**
- **Centre de télésurveillance 24/24**
- **Application mobile pour piloter à distance votre alarme[3]**

0 800 00 86 36 Service & appel gratuits

Offre soumise à conditions réservée aux particuliers pour les logements en France métropolitaine et dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100000 €. Frais de résiliation de 50 €. Conditions sur telesurveillance.orange.fr

(1) Tarif pour une maison : 29,99 €/mois pendant 12 mois puis 39,99 €/mois. Promotion valable pour toute première souscription (même titulaire et même adresse) entre le 06/10/22 et le 01/02/2023. En cas de résiliation avant la fin de la période d'engagement, les mensualités restantes sont dues (hors motif légitime). Le montant restant dû exclut les remises éventuelles. **(2)** Le technicien détermine l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé du logement, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur. Des équipements supplémentaires en option payante peuvent être nécessaires en fonction de la configuration et de la surface du logement. **(3)** Sur réseaux et mobiles compatibles. Compatibilité iOS 13.0 et +, Android 9.0 et +. Téléchargement gratuit, coût d'usage selon offre. Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33 610 000 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient.

Congrès international d'astronautique

De l'orbite terrestre à la Lune

Pour sa 73e édition, le Congrès international d'astronautique s'est déroulé à Paris, où il avait été inauguré en 1950. Sylvie Rouat, notre spécialiste aérospatial, y a sélectionné cinq projets parmi les plus prometteurs.

Susie, une navette futuriste pour l'Europe

Guyane, septembre 2031. Cinq astronautes décollent à bord du vaisseau spatial européen Susie, au sommet d'un lanceur Ariane 6, pour aller s'amarrer à une station orbitale. Une fois la mission achevée, l'équipage rentre dans l'atmosphère en atterrissant verticalement, grâce au frein moteur du vaisseau. Ce scénario futuriste a été présenté par ArianeGroup. L'acronyme Susie (pour Smart Upper Stage for Innovative Exploration) désigne un projet de vaisseau entièrement réutilisable et automatisé. D'une capacité d'emport de 25 tonnes, cet étage supérieur de fusée prévoit une version « augmentée » pour des destinations lunaires ou martiennes. Susie pourrait être fonctionnel dans moins de dix ans, si les décideurs européens lui donnent leur feu vert.

ARIANEGROUP

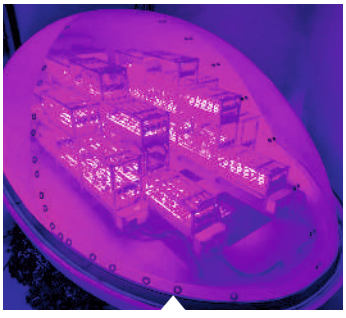
Rendez-vous orbital du vaisseau Susie avec son étage propulsif en vue de rejoindre la Lune (vue d'artiste).

Un balcon dans la stratosphère

Admirer la courbure de la Terre depuis un balcon posté à 35 km d'altitude, c'est l'expérience promise par l'entreprise toulousaine Stratoflight, à bord d'une capsule de 8 mètres de long pour six personnes, dont deux pilotes. L'engin monte jusqu'à la stratosphère à l'aide d'un ballon gonflé à l'hydrogène. Le retour au sol se fait sous une aile pilotée. Les premiers vols sont prévus pour 2025.

Biopod, le premier potager spatial

La start-up française Interstellar Lab a présenté son premier prototype de Biopod, sorte de serre gonflable autonome de 55 m² permettant de recréer les conditions environnementales idéales pour faire croître des plantes, en vue de nourrir un jour les habitants d'une base lunaire ; ou de procurer à l'industrie pharmaceutique des molécules calibrées. L'entreprise prévoit de fournir une dizaine de dômes dès ces prochains mois *(voir aussi* S. et A. *n° 901)*.



SYLVIE ROUAT

Le dôme de 55 m² est un système étanche et autonome.

GM, LOCKHEED MARTIN

Doté d'un bras robotique, le véhicule peut fonctionner sans conducteur.

Une nouvelle génération de rovers lunaires

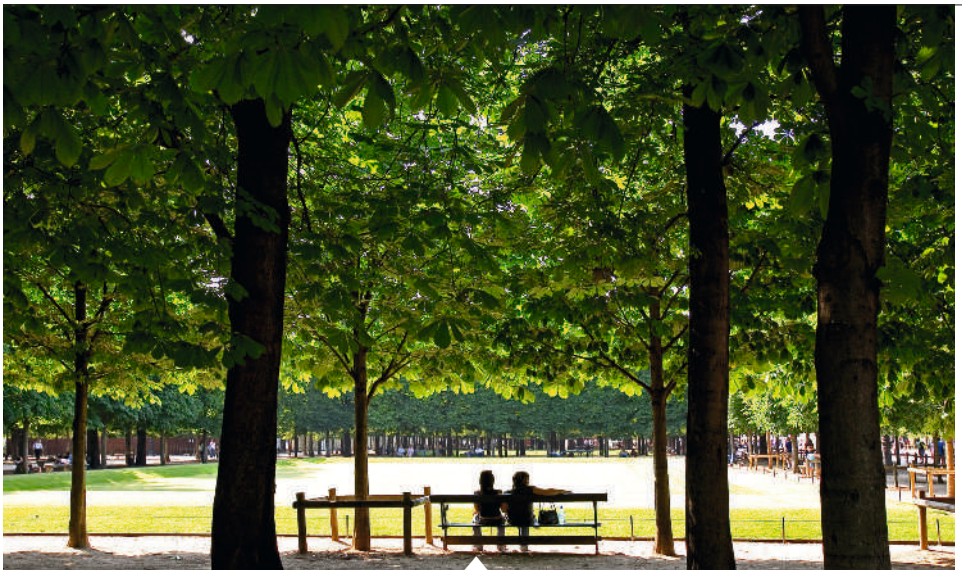
Les astronautes américains qui exploreront la Lune d'ici à 2030 auront besoin de véhicules plus puissants que ceux d'Apollo, qui n'avaient que 6 km de rayon d'action. Lockheed Martin et General Motors se sont associés pour concevoir la prochaine génération de rovers autonomes,qui pourront également remplir des missions sans conducteur. Équipés d'un bras robotique pour manipuler des charges, ils devront résister aux variations extrêmes de température, aux radiations et à une gravitation plus faible.

Un réparateur-éboueur autonome pour les satellites

La mission Eross (European Robotic Orbital Support Services), dont le lancement est prévu pour 2026, a été sélectionnée par la Commission européenne pour démontrer nos capacités orbitales de réparation, de ravitaillement, de remise à niveau logicielle et, surtout, de désorbitation grâce à un bras robotique. Aujourd'hui, 40 % des 5000 satellites en orbite sont fonctionnels. Les autres sont des débris spatiaux qu'il est urgent de « balayer ».

TotalEnergies
FONDATION
pour la jeunesse

La Fondation TotalEnergies accompagne vers la vie professionnelle les jeunes pour qui des portes se sont fermées.
Avec L'Industreet, avec les Ecoles de production et en soutenant des associations remarquables, nous voulons leur ouvrir de nouveaux horizons et les aider à trouver leur voie.



MICHEL GUNTHER/BIOSPHOTO

Les marronniers font partie des essences qui seront en situation de risque d'ici à trente ans (ici aux Tuileries, à Paris).

Les forêts urbaines devront s'adapter au climat

Les projets de plantation d'arbres en ville doivent être en adéquation avec le futur climat local. Le choix des essences sera déterminant.

Dure, la vie de l'arbre en ville. Plantés dans un sol imperméable aux pluies, soumis aux chocs et aux stress, étouffé par la chaleur urbaine, ils survivent pourtant et montrent tant d'avantages pour le confort des citadins que les nouveaux élus des grandes villes annoncent des plantations par milliers. L'étude internationale qui vient d'être publiée dans *Nature Climate Change* sonne cependant comme un avertissement. Avec le changement climatique, cette extension programmée de la « forêt urbaine », qui comprend autant les arbres d'alignement que ceux des parcs et des places, devra se faire dans le strict respect de la physiologie des plantes. *« Nos travaux, portant sur 164 villes dans 78 pays, montrent qu'il n'y a pas toujours adéquation entre le climat local et les choix des essences,* note Jonathan Lenoir, chercheur au CNRS et coauteur de l'étude. *À l'heure actuelle, entre 56 % et 65 % de ces espèces sont d'ores et déjà en situation de risque, et ce chiffre pourrait grimper entre 68 % et 76 % d'ici à 2050.* »

Anticiper les restrictions d'arrosage

Ainsi, à Paris, l'étude de 423 espèces d'arbres et d'arbustes révèle l'inadaptation d'essences aussi répandues que le frêne commun, le chêne pédonculé, le hêtre et le marronnier, qui risquent de ne pas supporter l'augmentation future des températures. *« Il est nécessaire d'orienter les choix des futures plantation vers des espèces adaptées à un climat plus chaud.* »

Dans le passé, les jardiniers choisissaient les espèces sans s'embarrasser de considérations climatiques puisqu'ils pouvaient contrôler les apports en nutriment et en eau. *« Or, ce sera bien plus difficile dans quelques décennies, quand les sécheresses et canicules plus nombreuses provoqueront des restrictions d'arrosage des plantes* », prévient le chercheur. ■ **L. C.**

Les bottes secrètes du poulpe

TEUTHOLOGIE Pour chasser, les poulpes multiplient les techniques. C'est ce que montre une étude menée à partir de vidéos. Il y a celle du parachutage : le poulpe se laisse tomber sur le crabe et se sert de ses bras pour l'amener à sa bouche ; celle du piège à mâchoires utilise deux groupes de bras qui s'étirent en pince autour de la proie. Enfin, les crevettes sont capturées avec un seul bras. **S. R.**

SOURCE : FLAVIE BIDEL, UNIVERSITÉ DU MINNESOTA, ÉTATS-UNIS.

N.WU/NATUREPL/EBPHOTO

Le céphalopode emploie plusieurs stratégies de chasse.

Les loups montrent de l'attachement pour l'humain

ÉTHOLOGIE L'attachement des chiens pour les humains n'est pas uniquement lié à leur domestication. Ce trait de caractère préexistait vraisemblablement chez le loup sauvage, selon des tests comportementaux réussis par des loups gris qui ont montré qu'ils savaient reconnaître les personnes familières et établir des contacts physiques typiques d'un attachement. **M. P.**

SOURCE : C. HANSEN WHEAT, UNIVERSITÉ DE STOCKHOLM, SUÈDE.

HENRY AUSLOOS/BIOSPHOTO

« Canis lupus » sait reconnaître des personnes familières.

HURTIGRUTEN EXPEDITIONS

Découvrez nos Croisières d'Expédition
sur **hurtigruten.fr**

LAISSEZ-NOUS VOUS ÉTONNER

Économisez jusqu'à 500€ en réservant avant le 30.11

Antarctique, Spitzberg, Groenland ou Galápagos... retrouvez le goût de l'aventure dans des contrées mythiques.

Embarquer pour une croisière d'expédition, c'est comme réaliser un rêve... C'est s'émerveiller face à la puissance de la nature. C'est vivre d'authentiques rencontres. Enrichir ses connaissances au côté de passionnants experts. C'est apprendre à discerner la toute fragilité de la faune pour mieux la préserver. Et s'abandonner au confort chaleureux et informel du navire.

Embarquer pour une croisière d'expédition, c'est laisser place à l'étonnement, encore et encore.

Croisière en Antarctique

Partez à la découverte de l'ultime continent vierge, de ses paysages immaculés, de ses icebergs et de ses colonies de manchots.

Réservez dès maintenant pour l'hiver 2023/24.

JUSQU'À **-500€**

Réservez au 01.86.26.04.19

Offre soumise à conditions, non rétroactive et non cumulable, valable sur le tarif du jour pour toute nouvelle réservation avant le 30 novembre 2022, d'une croisière d'expédition en Antarctique, pour un départ entre octobre 2023 et mars 2024. La réduction varie selon l'itinéraire et la date de départ. HURTIGRUTEN FRANCE SAS au capital de 40.000 € - RCS PARIS B 449 035 005 - IM075100037 – APST RCAPST HISCOX/125 520

GUETAL., NAT. GEOSCI., 2022

Piégés dans ce diamant d'origine très profonde, des minéraux denses comme la wadsleyite et la ringwoodite peuvent stocker de grandes quantités d'eau.

Un océan dans les profondeurs de la Terre

L'étude d'un diamant montre qu'à 660 km de profondeur, la teneur en eau est importante.

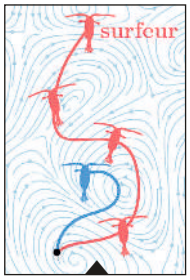
De grandes quantités d'eau sont présentes jusque dans les profondeurs de la planète : c'est ce que vient confirmer l'étude d'un diamant comprenant plusieurs inclusions bleutées. Provenant de la mine Karowe, au Botswana, cette pierre cristallisée à 660 kilomètres de profondeur a piégé dans sa structure des minéraux denses tels que la wadsleyite et la ringwoodite, qui se forment à des pressions et des températures régnant entre 410 et 660 kilomètres de profondeur — soit jusqu'à 23 000 bars et 1650°C.

Ce diamant d'origine superprofonde provient ainsi du bas de la zone de transition qui sépare le manteau supérieur du manteau inférieur, une région où la ringwoodite domine. La wadsleyite et la ringwoodite étant capables de stocker de telles quantités d'eau, la zone de transition pourrait théoriquement absorber six fois la teneur de nos océans sous forme de roches hydratées ! **S. R.**

Première injection de méthane de synthèse dans le réseau gazier

ÉNERGIE C'est à Sempigny (Oise) qu'a eu lieu la première injection en France de méthane de synthèse dans le réseau de distribution de GRDF, un gaz issu d'une nouvelle technologie de « méthanation » convertissant hydrogène et CO_2 en méthane. En période d'excès de production d'éolien et de solaire, le surplus d'électricité pourrait ainsi servir à produire de l'hydrogène par électrolyse, combiné au CO_2 capté aux cheminées d'usine, pour fournir ce méthane de synthèse. **L. C.**

Le plancton surferait sur les vagues



RÉMI MONTHILLER ET AL.

Pour aller plus vite, le plancton (en rouge) utilise les turbulences marines.

OCÉANOGRAPHIE À l'aide de simulations, des chercheurs montrent qu'il serait possible pour le plancton d'identifier et de suivre certaines turbulences aquatiques afin d'augmenter sa vitesse de déplacement dans l'eau, comme s'il surfait dessus. Bien qu'aveugles, ces minuscules organismes sentiraient d'infimes variations des écoulements dans lesquels ils sont pris. **H. J.**

SOURCE : RÉMI MONTHILLIER, AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, FRANCE.

ALFONSO ACEVES

À VOIR SUR LE NET

L'araignée acrobate chasse au lasso

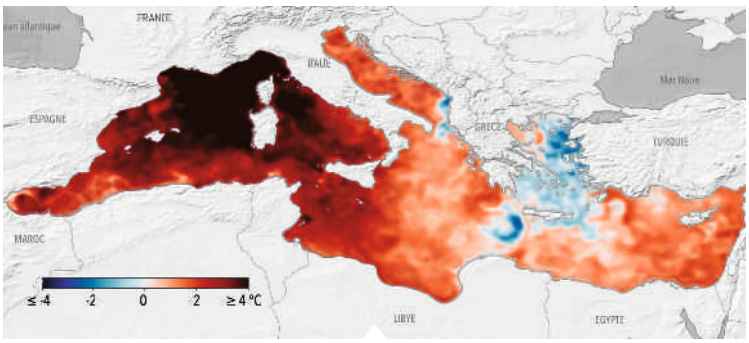
ARACHNOLOGIE Tel Spider-Man, *Euryopis umbilicata*, une araignée australienne spécialiste de la chasse aux fourmis, bondit par-dessus ses proies et les capture en projetant un fil de soie. Le tout en moins d'un dixième de seconde, comme en témoignent les vidéos inédites réalisées en caméra ultrarapide. **H. R.**

SOURCE : M. HERBERSTEIN, UNIVERSITÉ MACQUARIE, AUSTRALIE.

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

Réchauffement record de la Méditerranée

OCÉANOGRAPHIE La mer Méditerranée a connu cet été des canicules marines inquiétantes, comme le montrent les cartes de températures en mer mesurées par les satellites de l'Agence spatiale européenne. Celle du 21 juillet *(ci-contre)*, date de l'intensité maximale de la canicule au nord de la Corse, montre une anomalie de température de +5 °C par rapport à la moyenne observée depuis 1900. L'été 2022 aura été le deuxième plus chaud observé en France, avec une augmentation de 2,3 °C par rapport à la moyenne 1991-2020. **S. R.**



ESA

Lors de la canicule marine de cet été, les hausses de température ont dépassé les 4 °C.

À LA VIE, À LA TERRE

Le nouveau rendez-vous événementiel de TV5MONDE, présenté par Chloé Nabédian.

© Babel Doc / TV5MONDE / Pond5

Regarder le monde avec attention

TV5MONDE

À retrouver aussi sur la plateforme TV5MONDE PLUS

JÉRÔME SPITZ

QUESTIONS À

Jérôme Spitz

Chercheur au CNRS, codirecteur de l'observatoire Pelagis pour la conservation de la mégafaune marine

Les cétacés égarés dans les fleuves restent rares

Après les entrées médiatisées ces derniers mois d'une orque, d'un rorqual puis d'un béluga dans la Seine, un expert relativise l'impression d'une augmentation des égarements de cétacés dans les fleuves.

Les incursions de cétacés dans les fleuves français sont-elles de plus en plus fréquentes ?
Pour le moment, nous sommes plutôt sur un effet de loupe. Avec nos données qui s'étendent sur quarante ans, nous n'avons pas observé d'anomalie concernant ces incursions. Dernièrement, les égarements dans la Seine sont certainement des coïncidences concernant le lieu et elles ne sont pas de même nature. Aucun élément ne permet aujourd'hui de faire un lien entre ces observations.

État, biologistes marins et vétérinaires sont-ils assez préparés pour faire face à ces situations ?
Ces événements restent très rares. Il faut donc prendre déjà en compte la fréquence des cas et le bien-fondé de l'intervention. Mais oui, la France a suffisamment de moyens pour répondre à la plupart des cas.

Quelles sont les pistes d'amélioration pour la prise en charge de ces cétacés ?
Lors d'une incursion, il faut étudier chaque étape au cas par cas et adopter une réponse appropriée. Il serait intéressant d'avoir un guide d'aide à la décision afin de mettre en œuvre les mesures les plus adaptées à chaque situation et ne pas reprendre tout à zéro à chaque fois. **Propos recueillis par A.-S. T.**

Le secret du tardigrade contre la déshydratation

BIOLOGIE Si l'ourson d'eau peut survivre à une perte de plus de 99 % d'eau, c'est grâce à ses protéines cytoplasmiques abondantes thermosolubles (CAHS), révèle une étude. Lorsque la déshydratation est enclenchée, ces protéines conservent les cellules en les enveloppant de fibres gélatineuses, empêchant ainsi leur dégradation structurelle. Reste à expliquer la résistance du minuscule arthropode aux températures extrêmes, aux milieux privés d'oxygène et aux pressions écrasantes. **H. J.**

SOURCE : AKIHIRO TANAKA, UNIVERSITÉ DE TOKYO, JAPON.

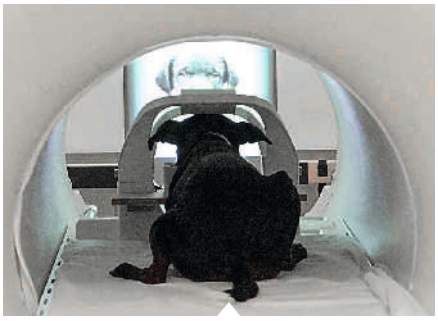
SPL/ SUCRÉ SALÉ

L'ourson d'eau possède des protéines qui empêchent la dégradation des cellules.

20 millions de milliards

Le nombre de fourmis sur Terre

ÉCOLOGIE Si petites, si nombreuses, si lourdes ! Une équipe de l'université de Hongkong a compilé 489 études pour estimer la population totale de fourmis grouillant à la surface de la Terre : 20 millions de milliards, soit 2,5 millions de fourmis pour chaque être humain. Leur biomasse totale est de 12 millions de tonnes, équivalant à 20 % de celle de l'humanité. **L. C.**


EMORY CANINE COGNITIVE NEUROSCIENCE LAB

L'IRM a permis de décoder les stimuli visuels dans le cerveau de canidés regardant des vidéos.

Dans la tête des chiens

ÉTHOLOGIE En suivant l'activité cérébrale de chiens grâce à l'IRM fonctionnelle pendant qu'ils regardaient des vidéos, des chercheurs ont, pour la première fois, décodé des stimuli visuels dans le cerveau du meilleur ami de l'humain. Selon les résultats, les chiens seraient plus sensibles aux actions dans leur environnement plutôt qu'à l'auteur ou à l'objet de l'action. **H. J.**

SOURCE : ERIN PHILIPPS, UNIVERSITÉ EMORY, ÉTATS-UNIS.

Ils atteignent le plus grand arbre d'Amazonie

BOTANIQUE Après trois ans de planification, cinq expéditions et une randonnée de deux semaines dans la jungle, une équipe de l'université fédérale d'Amapá (Brésil) a atteint le plus grand arbre jamais découvert dans la forêt amazonienne. Repéré par satellite en 2019 dans la réserve naturelle de la rivière Iratapuru, dans le nord du Brésil, le spécimen est un *Dinizia excelsa* de 88,5 mètres de haut et 9,9 mètres de diamètre. **H. J.**

RIVAGES
DU MONDE

Voguer. Échanger. Rêver

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit photothèque

Croisières
Au Groenland
Août 2023

Nos croisières au Groenland évoluent au plus près des spectaculaires fjords de glace, à bord d'un yacht d'expédition haut de gamme conçu pour 180 passagers.

SA08

Découvrir cette croisière ▶

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE

Un essai clinique mondial portant sur 1800 personnes a montré une réduction de 27 % du déclin cognitif après 18 mois de traitement au lecanemab.

Alzheimer : le déclin cognitif enfin ralenti

Un nouveau médicament s'attaque aux plaques de protéines bêta-amyloïdes qui, accumulées dans le cerveau, détruisent les neurones.

Pour la première fois, un traitement a permis de réduire le déclin cognitif de patients aux premiers stades de la maladie. Le lecanemab, des groupes pharmaceutiques japonais Eisai et américain Biogen, a été testé lors d'un essai clinique mené sur 1800 personnes. Le médicament a permis de réduire de 27 % le déclin cognitif des patients traités sur une période de 18 mois. Son principe : s'attaquer aux plaques de protéines bêta-amyloïdes qui, accumulées dans le cerveau, détruisent les neurones et engendrent un déclin cognitif. *« Jusqu'à présent, on avait beau réussir à faire disparaître les lésions dans le cerveau, les symptômes des patients n'étaient pas améliorés »*, indique le Pr Bruno Dubois, neurologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. Cette nouvelle remet du vent dans les voiles de la piste des plaques bêta-amyloïdes, grevée par les critiques autour de l'aducanumab, une molécule au principe d'action similaire au lecanemab, autorisée cet été par la FDA, l'agence américaine du médicament. *« À l'annonce de cette nouvelle, il y a eu une levée de boucliers des scientifiques, qui ont constaté que le dossier ne répondait pas aux critères habituels d'autorisation,* explique le neurologue. *Cela ne remet en cause ni les résultats ni la puissance du médicament, mais les conditions dans lesquelles l'autorisation a été donnée. »* Le coût de 56 000 dollars par an avait lui aussi été décrié.

Plus tôt dans l'année, *Science* rapportait aussi qu'une étude majeure de 2006 sur la protéine bêta-amyloïde 56 avait fait l'objet de fraudes. *« La bêta-amyloïde 42, qui a une responsabilité directe dans la maladie d'Alzheimer, n'est, elle, pas remise en cause,* commente Bruno Dubois. *D'autant plus que désormais, le lecanemab a montré la preuve qu'il existe bien une corrélation entre la plaque amyloïde, la protéine tau et les symptômes. Cette réaction en cascade est validée. »* Reste désormais à savoir quels patients traiter suffisamment en amont : les lésions dans le cerveau apparaissent dix à quinze ans avant les premiers symptômes. **C. L.**

100 000

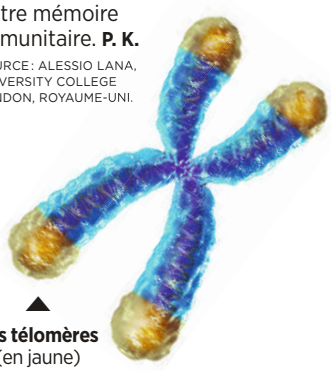
Le nombre de microbiotes intestinaux du projet FrenchGut

MICROBIOLOGIE Quelques clics, un questionnaire de vingt minutes et un prélèvement de matières fécales à la maison : c'est la procédure très simple qui vous permettra peut-être de faire figurer votre microbiote intestinal parmi les 100 000 que des scientifiques veulent récolter en France pour constituer une banque de données inédite. **C. G.**

Une vie prolongée pour des cellules immunitaires

IMMUNOLOGIE Certaines cellules accroissent leur longévité par un processus inédit, révèle une étude. En principe, à chaque division cellulaire, les télomères à l'extrémité des chromosomes raccourcissent jusqu'à la mort de la cellule. Mais les chercheurs montrent que les lymphocytes T mémoires, essentiels à l'immunité, peuvent recevoir d'autres cellules une rallonge de télomères, prolongeant leur espérance de vie et, donc, notre mémoire immunitaire. **P. K.**

SOURCE : ALESSIO LANA, UNIVERSITY COLLEGE LONDON, ROYAUME-UNI.



SHUTTERSTOCK

Les télomères (en jaune) sont situés à l'extrémité des chromosomes.

Les spermatozoïdes, plus efficaces quand ils nagent groupés

REPRODUCTION Placés dans des structures tridimensionnelles reproduisant l'appareil génital féminin, des spermatozoïdes de taureau ont tendance à se rassembler par deux à quatre cellules. Une technique de nage groupée qui les rend bien plus efficaces pour progresser au travers de l'épais mucus vaginal. La découverte pourrait éclairer d'un nouveau jour certains cas d'infertilité, selon les chercheurs. **H. J.**

SHIVA PHUYAL ET AL.

La nage collective (à deux ou plus) permet aux gamètes mâles de mieux progresser dans le mucus vaginal.

SOURCE: SHIVA PHUYAL, UNIVERSITÉ AGRICOLE ET TECHNIQUE D'ÉTAT DE CAROLINE DU NORD, ÉTATS-UNIS.

Le pouvoir psychédélique de la réalité virtuelle

NUMÉRIQUE Dans une expérience immersive, des participants ont vu leurs corps comme des ensembles de particules luminescentes, qui finissent par fusionner en une « pure énergie ». Une expérience de « décorporation » similaire à ce qu'éprouvent les participants aux essais sur l'anxiété ou la dépression utilisant des produits tels le LSD ou la psilocybine. Ces derniers pourraient donc être remplacés par la réalité virtuelle. **A. D.**

SOURCE: DAVID GLOWACKI, CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TECHNOLOGIES INTELLIGENTES, ESPAGNE.

Le gain sanitaire de la marche et du vélo

ÉPIDÉMIOLOGIE À l'horizon 2050, environ 10 000 décès pourraient être évités en France grâce à la hausse des transports actifs comme la marche ou le vélo. En induisant un certain niveau d'activité physique, ces déplacements permettraient d'éviter un grand nombre de maladies chroniques (obésité, diabète, maladies cardio-vasculaires, cancers…). Selon les calculs des chercheurs, la transition pourrait même sauver 3000 vies dès 2025. **H. J.**

PAUL LANGROCK/LAIF-REA

Les transports actifs réduisent le risque de maladies chroniques.

SOURCE: PIERRE BARBAN, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS, FRANCE.

www.lesproduitsdumois.com

PERTE DE CONCENTRATION ET DE MÉMOIRE ?

Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau.

Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques.

Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.

Cerveau Clair tonifie et revitalise le cerveau pour aider à garder les idées claires !

● En pharmacie - Boîte de 60 comprimés - ACL 2951863 - Convient aux végétaliens - Questions ? New Nordic répond au 01 85 12 12 12 (tarif local) www.vitalco.com

BOOSTEZ VOTRE ÉNERGIE, D-STRESS® BOOSTER !

Retrouvez énergie et sérénité grâce à **D-Stress® BOOSTER** ! Formule unique et brevetée agissant durablement sur le manque d'énergie et le stress.

Un sachet de **D-Stress® BOOSTER** contient 200 mg de magnésium de 3ème génération et des vitamines B qui contribuent au métabolisme énergétique et aident à réduire la fatigue.

Grâce à sa galénique sachet, **D-Stress® BOOSTER** est pratique à emporter.

De plus, son goût aux arômes naturels de pêche et de citron est parfait pour une prise agréable et fruitée.
D-Stress® Booster votre allié énergie !
Agit en 30 min, sans accoutumance.

■ Prendre 1 à 2 sachets par jour à répartir sur la journée.
Laboratoire Synergia.
Disponible en pharmacie, env. 17€, boîte 20 sachets, ACL 5136879 ou commandez sur www.synergiashop.com ou par téléphone au 04 77 42 30 10.

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Le vice caché du hamburger

Le sucre associé aux graisses nuit au bon fonctionnement du microbiote intestinal.

En tuant bactéries et cellules immunitaires dans l'intestin, les sucres faciliteraient l'absorption des lipides alimentaires.

TAA MOORE/GETTY IMAGES

Si les hamburgers notamment doivent être consommés avec modération, c'est que le sucre associé aux graisses attaque un type bactérien essentiel au bon fonctionnement intestinal. C'est la découverte annoncée par une équipe de l'université Columbia (États-Unis) dans *Cell*, qui éclaire d'un jour nouveau l'inflammation chronique de l'intestin induite par les aliments gras et sucrés.

Selon l'étude menée sur le microbiote de souris, trop de sucre entraîne la disparition des bactéries filamenteuses segmentées et, avec elles, de cellules immunitaires appelées lymphocytes Th17. Or, l'absence de ces dernières rend l'intestin beaucoup plus perméable aux lipides alimentaires. S'il est confirmé chez l'être humain, le scénario du rôle délétère du sucre dans l'absorption excessive des graisses alimentaires serait le suivant : en déséquilibrant les populations bactériennes de l'intestin, il gêne le développement normal du système immunitaire local, qui contrôle le passage des graisses à travers la muqueuse intestinale. Cela vaut aussi pour les frites baignées dans le ketchup. **P. K.**

EN DEUX MOTS

RÉGÉNÉRATION Pour éviter le remplacement des prothèses de hanche, un chirurgien à l'université Yale (États-Unis) utilise les cellules souches des patients qui contrent la nécrose et régénèrent l'os. **CYBERATTAQUE** Le groupe de hackers à l'origine d'une attaque informatique contre le centre hospitalier sud francilien de Corbeil-Essonnes a diffusé au moins 11 Go de données sensibles. **CANCER** Des champignons microscopiques poussent dans les cellules cancéreuses, révèle une étude israélienne.

Un deuxième vaccin plus efficace contre le paludisme

INFECTIOLOGIE Un nouveau vaccin contre le paludisme, « R21 », développé à l'Institut Jenner de l'université d'Oxford au Royaume-Uni, montre une efficacité vaccinale de 80 % chez de jeunes enfants, révèle un essai mené au Burkina Faso. De quoi changer la donne, espère l'OMS qui avait recommandé en 2021 le tout premier vaccin, efficace quant à lui à 44 %. **P. K.**

SOURCE : MEHREEN DATOO, UNIVERSITÉ OXFORD, ROYAUME-UNI.

SHUTTERSTOCK

► **Le R21,** développé par l'université d'Oxford, est efficace à 80 %.

Le rugby double le risque de maladie neurodégénérative

NEUROLOGIE

En comparant les données médicales de 412 anciens rugbymen écossais professionnels à celles d'un groupe témoin de 1236 personnes sur trois décennies, des scientifiques ont mesuré que les premiers étaient 11,5 % à souffrir d'une maladie neurodégénérative, contre 5 % en population générale. Et ce, quel qu'ait été le poste occupé (arrière, demi de mêlée, deuxième ligne, etc.). Pour la maladie de Parkinson, le risque est même triplé chez les joueurs. H. R.

SOURCE : EMMA RUSSELL, UNIVERSITÉ DE GLASGOW, ÉCOSSE.

ERIC BAUDET/DIVERGENCE

44 % des Français feraient un usage problématique des écrans.

La vraie addiction aux écrans existe, mais reste rare

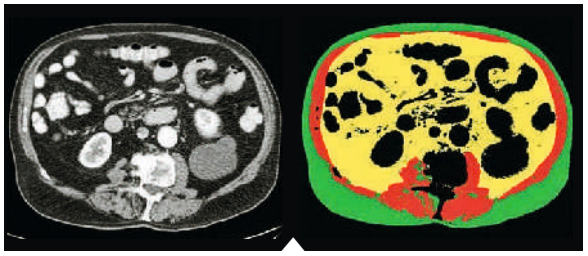
PSYCHIATRIE Près de la moitié de la population française (44 %) ferait un usage problématique des écrans, mais seul 1,7 % souffrirait d'une véritable addiction, selon une étude qui a adapté pour les écrans une liste de critères définis pour l'addiction aux jeux vidéo. Les chercheurs révèlent notamment que le premier marqueur de l'addiction est moins le temps d'utilisation total que la perte de contrôle, se traduisant par un besoin compulsif de consulter l'écran. **C. G.**

SOURCE : MATHIEU BOUDARD, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX-CNRS, FRANCE.

Mesurer le risque cardio-vasculaire sur simple scanner

IMAGERIE La densité de graisse viscérale, mesurée à partir d'une imagerie en coupe par scanner classique, est un bon moyen de mesurer le risque cardio-vasculaire à cinq ans, selon une étude menée auprès de 10 000 personnes. C'est au niveau de la troisième vertèbre lombaire que l'interprétation est faite : la graisse viscérale *(photo ci-dessous, en jaune)*, le muscle squelettique *(en rouge)*, la graisse sous-cutanée *(en vert)*. Ici, celle d'un patient sans aucun facteur de risque mais ayant fait un infarctus et un AVC dans les cinq ans qui ont suivi. **S.R.-M.**

SOURCE : KIRTI MAGUDIA, BRIGHAM & WOMEN'S HOSPITAL, ROYAUME-UNI.



ARRS/AJR

Le volume de graisse viscérale (en jaune) mesuré sur scanner au niveau des lombaires offre un marqueur de risque d'accidents vasculaires.

L'odeur du stress humain détectée par les chiens

PHYSIOLOGIE Les chiens peuvent reconnaître l'odeur du stress humain, indiquent de nouvelles expériences qui montrent que la sueur et l'haleine changent de composition quand nous sommes soumis à un stress, même léger. Les chiens sentent cette odeur humaine spécifique sans être eux-mêmes affectés. Voilà pourquoi il ne faut jamais paniquer face à un chien et pourquoi celui-ci peut défendre une personne qui se sent en danger. **P. K.**

SOURCE : CLARA WILSON, UNIVERSITÉ QUEEN'S DE BELFAST, ROYAUME-UNI.

SPL/BSIP

Des molécules présentes à la surface de la trace papillaire peuvent être datées.

Dater les empreintes digitales sur les scènes de crime

BIOCHIMIE Éléments clés d'une enquête criminelle, les empreintes digitales ont un défaut : il est très difficile d'estimer de quand elles datent. Cette limitation pourrait être bouleversée par l'analyse de molécules présentes dans la trace papillaire, selon une étude. La dégradation au fil du temps de certains époxydes permettrait de dater une empreinte déposée par un suspect. **P. K.**

SOURCE : PAIGE HINNERS, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE L'IOWA, ÉTATS-UNIS.

www.lesproduitsdumois.com

COMBATTEZ vos DOULEURS MUSCULAIRES & ARTICULAIRES avec NOCICEPTOL® GEL ANTI-DOULEUR aux huiles essentielles !

EFFICACE & RAPIDE ! Ses 5 billes en verres et sa composition permettent de masser les zones tendues tout en agissant sur les douleurs.

Son efficacité a été scientifiquement prouvée !

(Etude in-vivo,12POGAD02, Nov 2013) - Dispositif médical CE lire les instructions avant utilisation.

● En pharmacie ACL 3664538000313 le tube de 200mL 24.95€
Existe en 120mL et 40mL www.nociceptol.fr
Demandez conseil à votre pharmacien
Laboratoire POLIDIS - 01 47 51 28 00

RETROUVER BIEN-ÊTRE ET SÉRÉNITÉ

Zenytud est une formule à la fois puissante et naturelle, idéale en situation de mal-être et notamment de burn-out.

Elle associe des extraits végétaux concentrés (Rhodiola, Safran) à Lactium® (un ingrédient breveté) ainsi que des vitamines (B3, B6, B9) et minéraux essentiels (Magnésium).

Ensemble, ils agissent sur les neurotransmetteurs les plus importants dans les troubles anxieux (GABA, sérotonine, dopamine) tout en **favorisant des fonctions psychologiques normales, une réduction de la fatigue et une humeur positive.**

Sans effet indésirable ni accoutumance.

■ En pharmacie - Boîte de 60 gélules végétales. ACL 6024255
Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - zenytud.com
Formule très concentrée, demandez un avis médical si vous prenez des médicaments.

NOUVEAU : Reflux, sécrétions, irritations altèrent votre qualité de vie. MUCODISTIM, ENFIN UNE SOLUTION !

Raclements persistants dans la gorge, la Lithocétine® et le GABA agissent sur le pH de l'acidité gastrique et sur la réduction du relâchement du sphincter, permettant ainsi de contribuer à l'élimination des mucosités tout en luttant contre le reflux, l'Inflammation et l'irritation.
La quercétine,pour sa part, aide à combattre lephénomène allergique.
En complément, la Valériane, l'éleuthérocoque, et le magnésium agissent sur le stress et la tension musculaire.
Mucodistim va vous soulager !

A découvrir sur www.audistimpharma.com, en pharmacie et au tel. 05 56 69 13 84

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

La méthode scientifique pour endormir un bébé

NÉONATALOGIE Cinq minutes de portage en mouvement suivies de huit minutes de portage assis avant de le déposer dans son lit. Voilà la meilleure stratégie pour apaiser et endormir un enfant entre 0 et 7 mois, selon une étude qui a comparé quatre techniques sur 21 bébés : en mouvement dans une poussette (ou un berceau à bascule), seul dans un lit immobile, porté en marchant, ou porté assis. La mesure constante du rythme cardiaque montre qu'il vaut mieux marcher sur un terrain plat et dégagé à un rythme régulier, les bébés étant en effet très sensibles aux changements de rythme. **C. G.**

SOURCE : NAMI OHMURA, CENTRE DES SCIENCES DU CERVEAU RIKEN, JAPON.

Porter le nourrisson 5 minutes en marchant puis 8 minutes assis serait la bonne solution.

PLAINPICTURE

Le cancer du non-fumeur expliqué par les particules fines

SPL/BSIP

10 à 25 % des cancers du poumon touchent des non-fumeurs.

ONCOLOGIE Une étude présentée au Congrès européen du cancer à Paris met en évidence un mécanisme moléculaire expliquant en partie les cancers du poumon chez les non-fumeurs. Les particules fines issues des gaz d'échappement interagissent avec deux mutations génétiques à risque portées par des cellules pulmonaires saines pour déclencher l'apparition de tumeurs chez des non-fumeurs. **S. R.-M.**

SOURCE : CHARLES SWANTON, FRANCIS CRICK INSTITUTE, ROYAUME-UNI.

147 milliards d'euros

Le coût social des nuisances sonores par an en France

SANTÉ PUBLIQUE Chaque année, plusieurs milliers de décès et de pathologies peuvent être attribués à une trop forte exposition à la pollution sonore selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et le Conseil national du bruit, qui ont ainsi estimé le coût social et sanitaire du bruit. **H. J.**

JEAN-MARC BLACHE

QUESTIONS À

Sandrine Humbert

Directrice de recherche Inserm, responsable de l'équipe Progéniteurs neuraux et pathologies cérébrales au Grenoble Institut des neurosciences

La maladie de Huntington débute plus tôt que prévu

Pathologie neurodégénérative d'origine génétique ne se déclarant qu'à l'âge adulte, la maladie de Huntington pourrait être traitée par une molécule administrée dès l'enfance, selon une étude.

Que nous apprennent vos travaux sur la maladie ?

Elle débute plus précocement qu'on ne le pensait. Nous avons pu observer sur des souriceaux modèles de la maladie que certains neurones du cortex cérébral impliqués dans la motricité, la sensibilité et la mémoire montrent déjà des défauts de morphologie et de transmission synaptique. Or, la maladie de Huntington se signale, justement, par des troubles psychiatriques, cognitifs et moteurs.

Qu'est-ce qui provoque la maladie ?

Un gène, transmis par l'un des deux parents, est muté de façon assez particulière : il présente une répétition d'un motif CAG qui code une glutamine dans la protéine huntingtine. Si la répétition de CAG dans le gène (donc de glutamine dans la protéine) est supérieure à 36 fois, la protéine ne fonctionne plus normalement. La maladie se manifeste généralement entre 30 et 50 ans.

Sera-t-il possible un jour de retarder sa survenue ?

C'est l'un de nos espoirs. Nous venons de montrer que l'administration à un souriceau modèle de la maladie d'une molécule connue pour faciliter la transmission nerveuse a permis de restaurer son activité neuronale et d'abolir les symptômes à l'âge adulte. Nous en tirons la conclusion que si un traitement existe un jour, il faudra l'administrer le plus tôt possible au futur malade. **Propos recueillis par H. R.**

Musées
DE MONTBÉLIARD

ANATOMIE
COMPARÉE DES

ESPÈCES IMAGINAIRES

EXPOSITION

17 SEPTEMBRE 2022 ▸ 12 MARS 2023

Musée du château des
ducs de Wurtemberg

MONTBÉLIARD

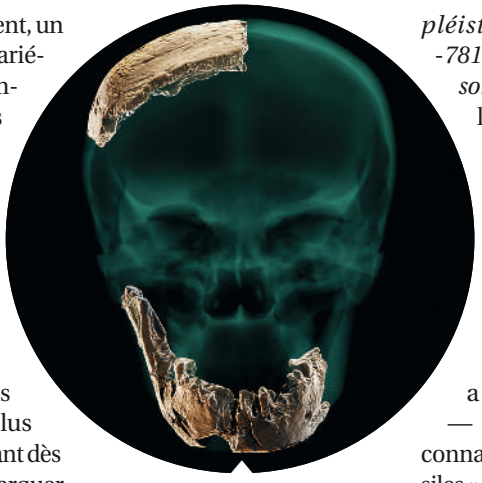
Pôle Culturel

Montbéliard

Une 6e espèce humaine a coexisté avec « sapiens »

« Homo sapiens » a cohabité avec une espèce jusqu'alors inconnue : l'homme de Nesher Ramla, qui vivait au Levant il y a 400 000 à 130 000 ans environ.

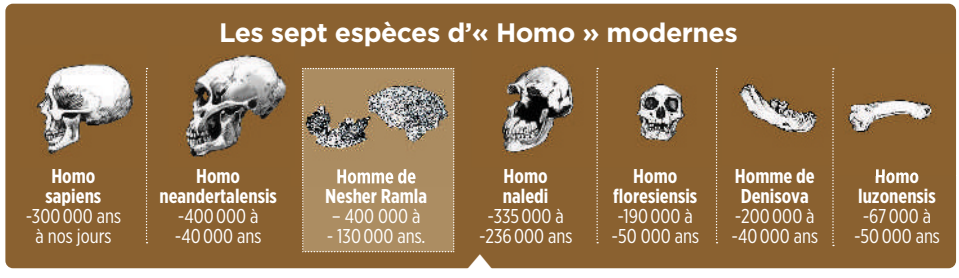
Un nouvel ossement, un fragment d'os pariétal, vient de compléter les restes fossiles de l'*Homo* de Nesher Ramla. Cet *Homo* primitif inconnu, vivant au Levant jusqu'à -130 000 ans environ, a été découvert sur le site de Nesher Ramla, en Israël, et a fait l'objet d'une publication dans *Science* il y a un peu plus d'un an. Installé au Levant dès -400 000 ans, il a vu débarquer *Homo sapiens* 200 000 ans plus tard sur son territoire, et les deux groupes se sont côtoyés pendant près de 100 000 ans, partageant des outils et des connaissances, montrent les fouilles. Selon les chercheurs de l'université de Tel-Aviv et de l'université hébraïque de Jérusalem (Israël), la morphologie des humains de Nesher Ramla partage des caractéristiques avec les néandertaliens (les dents et les mâchoires) et les *Homo* archaïques (en particulier le crâne).



Les restes de l'homme de Nesher Ramla sont constitués d'un morceau de crâne et de mâchoire.

Par ailleurs, ce type d'*Homo* est très différent des humains modernes, avec une structure de crâne presque sans menton et de très grandes dents. *« Les* Homo *de Nesher Ramla sont la population "source" à partir de laquelle la plupart des humains du pléistocène moyen (entre -781 000 et -26 000 ans) se sont développés »*, assure le paléoanthropologue Israël Hershkovitz. Leur groupe pourrait être la mystérieuse population dite manquante qui s'est accouplée avec des *H. sapiens* arrivés dans la région il y a environ 200 000 ans — et dont nous avons connaissance grâce à des fossiles « hybrides » trouvés dans la grotte de Misliya, en Israël *(lire* S. et A. *n° 853)*.

La découverte dans cette région de ce nouveau groupe d'*Homo*, ressemblant aux populations prénéandertaliennes en Europe, remet en question l'hypothèse dominante selon laquelle les néandertaliens seraient originaires d'Europe, suggérant qu'au moins certains de leurs ancêtres venaient du Levant.■ **R. M.**



TEL AVIV UNIVERSITY - OLIVIER-MARCNADEL

L'« Homo » de Nesher Ramla et « sapiens » se sont côtoyés pendant près de 100 000 ans au Levant.

De l'halloumi affiné il y a 2600 ans

ÉGYPTOLOGIE Le ministère des Antiquités égyptiennes a annoncé la découverte de moules à fromage vieux de 2600 ans sur le site de la nécropole de Saqqarah au sud du Caire (Égypte). Selon les inscriptions en démotique, écriture antique dérivée des hiéroglyphes, ils servaient à la confection de l'halloumi alors désigné « haram », un fromage de brebis et de chèvre originaire de Chypre. Certains moules encore scellés pourraient recéler des tomes à l'affinage exceptionnel. **R. M.**

GYPTIAN MINISTRY OF TOURISM AND ANTIQUITIES

Les moules à fromage ont été trouvés sur le site de Saqqarah.

Les cités mayas gravement polluées au mercure

ARCHÉOLOGIE Une étude met en lumière d'importants taux de contamination au mercure dans les sols occupés durant l'ère maya, au Mexique et en Amérique centrale, due à l'utilisation du cinabre (sulfure de mercure) pour la décoration sur près d'un millénaire jusqu'à 1100 de notre ère. La pollution serait si importante par endroits qu'elle représenterait toujours un danger potentiel pour les archéologues œuvrant sur les sites d'occupation. **M. B.**

SOURCE : DUNCAN COOK, UNIVERSITÉ CATHOLIQUE AUSTRALIENNE, AUSTRALIE.

Pâte suisse
BONNE NUIT

Le plaisir de s'endormir

extraits de plantes

mélatonine

SANS SUCRE

Disponible en pharmacie
et sur lehning.com

MÉDICATION VÉGÉTALE DEPUIS 1935

LEHNING
LABORATOIRES

Pour votre santé, pratiquez une activité physique régulière. www.mangerbouger.fr

Les plus anciens animaux de France étaient bretons

PALÉONTOLOGIE Il y a environ 530 millions d'années, les fonds marins bretons étaient peuplés d'animaux ressemblant à de petits vers marins. C'est ce que révèle le réexamen de fossiles bretons connus depuis le XIXe siècle, sur lesquels figurent des pistes d'un à deux millimètres de large, tracées par les plus anciens organismes connus ayant vécu sur le sol français. À ceci près que la Bretagne était alors immergée et située à la même position géographique que l'Australie actuelle. **FI. N.**

SOURCE : BAPTISTE COUTRET, UNIVERSITÉ DE RENNES, FRANCE.

On amputait déjà il y a 31 000 ans

TIM MALONEY

Le membre gauche sectionné révèle une cicatrisation réussie.

PALÉOMÉDECINE Retrouvés dans la grotte calcaire Liang Tebo sur l'île de Bornéo (Indonésie), des restes humains vieux de 31 000 ans révèlent qu'un individu, âgé d'une vingtaine d'années au moment de sa mort, avait survécu six à neuf ans à une amputation du pied gauche. La plus ancienne opération comparable connue était celle d'un agriculteur ayant vécu en France il y a environ 7000 ans dont l'avant-bras gauche avait été amputé. **M. B.**

SOURCE : TIM RYAN MALONEY, UNIVERSITÉ GRIFFITH, AUSTRALIE.

Faire parler le roi Henri IV

ARCHÉOLOGIE À partir du scanner de la tête momifiée d'Henri IV (1553-1610), une équipe a pu reconstituer son larynx en 3D et espère restituer sa voix d'ici à la fin de l'année. Les structures anatomiques de la parole ont en effet été très bien conservées, le larynx ainsi que les fosses nasales, le pharynx et les cordes vocales étant intacts. **H. J.**

SOURCE : P. CHARLIER, MUSÉE DU QUAI-BRANLY-JACQUES-CHIRAC, FRANCE.

ROYAL TYRRELL MUSEUM OF PALAEONTOLOGY

Les morceaux du fossile dépassant de la roche (dont une cheville avec des restes de peau, en médaillon) appartiennent à un jeune dinosaure à bec de canard.

Un dinosaure retrouvé avec sa peau

Encore partiellement enfoui, ce fossile d'un hadrosaure découvert au Canada pourrait être entièrement conservé.

Au cœur des badlands de l'Alberta, au Canada, le parc provincial Dinosaur abrite une des plus riches collections de fossiles de dinosaures datant de la fin du crétacé (-75 à -77 millions d'années), avec pas loin de 60 espèces différentes identifiées à ce jour. C'est là qu'une équipe de l'université de Reading (Royaume-Uni) a découvert des morceaux de squelette affleurant d'une roche et recouverts en partie de peau fossilisée. Si le fossile est toujours en cours d'extraction, la grande partie de la queue et la patte arrière droite qui affleurent ont été identifiées comme appartenant à un hadrosaure, un « dinosaure à bec de canard ». Selon les paléontologues, il pourrait y avoir encore plus de téguments préservés dans la roche. Suffisamment pour reconstituer les couleurs et les motifs qui ornaient la peau de ce dinosaure. Les réponses ne viendront toutefois pas avant plusieurs années, une fois que le fossile déterré sera traité puis analysé par les spécialistes. **J. I.**

J. MORRIS / AKG

Âne figurant sur une tombe égyptienne de Saqqarah (vers -2400 avant J.-C.).

Aux origines de la domestication de l'âne

GÉNOMIQUE L'âne a été domestiqué il y a un peu plus de 7000 ans, vraisemblablement dans une zone comprenant la corne de l'Afrique et le Kenya. C'est ce que révèle une étude de l'histoire génétique de cet équidé à partir des génomes de 207 ânes vivants, 31 anciens et 15 équidés sauvages. L'espèce est ensuite sortie d'Afrique par le Levant il y a 4500 ans. **J. I.**

SOURCE : LUDOVIC ORLANDO, UNIVERSITÉ PAUL-SABATIER, TOULOUSE, FRANCE.

L'accès aux soins pour tous : un défi à relever ensemble.

Catherine Bechereau est chargée des relations avec les personnes qui souhaitent transmettre leurs biens à Médecins Sans Frontières. Pour elle, chacun peut jouer un rôle décisif dans la mission de l'association et relever ce formidable défi : être toujours là, pour soigner ceux qui en ont besoin.

© Vincenzo Livieri

Quelle est la mission de Médecins Sans Frontières ?
Médecins Sans Frontières fournit un accès aux soins aux personnes victimes de catastrophes naturelles, de conflits armés ou d'épidémies, pour défendre ce qui devrait être un droit universel : l'accès aux soins pour tous. Pour nous, il est intolérable qu'une mère perde son bébé faute d'un suivi médical adapté ou qu'un malade ne prenne plus ses médicaments parce que les stocks manquent. Même si les Conventions de Genève qui dictent les règles en matière de protection des civils et des personnels humanitaires lors de conflits ne sont pas respectées, nous continuerons d'être là, d'alimenter en médicaments des structures de santé et de soigner.

D'où proviennent les ressources de Médecins Sans Frontières ?
99 % des ressources de Médecins Sans Frontières proviennent de donateurs individuels et de testateurs, c'est à dire des personnes qui nous transmettent leurs biens après leur décès. Cela nous permet d'agir en toute indépendance.

Quelle est la différence entre léguer et donner ?
Le legs est un don fait par testament qui prend effet au décès du testateur, contrairement à la donation qui permet de donner de son vivant. Une assurance-vie peut également être transmise par un legs ou être donnée au cours de sa vie.

Qui sont les personnes qui choisissent de transmettre leurs biens à Médecins Sans Frontières ?
Les personnes qui nous contactent pour évoquer avec nous un projet de transmission ont des parcours de vie très différents. Certaines d'entre elles ont découvert Médecins Sans Frontières sur le terrain, au cours d'un de leurs voyages, d'autres ont fait carrière dans le domaine médical, d'autres encore soutiennent Médecins Sans Frontières de génération en génération... Il n'y a pas deux histoires qui se ressemblent et pas de profil type de testateurs. Le fait de transmettre ses biens est un acte personnel, propre aux envies, aux convictions et à l'histoire de chacun.

Comment accompagnez-vous les testateurs dans leur projet de transmission ?
Les personnes que je rencontre me confient parfois leur parcours de vie et leurs motivations. Mon rôle est de les écouter avec attention et bienveillance et de m'adapter à chaque situation pour leur proposer un accompagnement sur mesure. Je réponds à leurs interrogations, leur transmets des documents d'information et, si nécessaire les mets en relation avec nos experts du pôle juridique, legs et donation pour les questions plus spécifiques. Je suis disponible par e-mail, par téléphone, à domicile ou dans nos locaux pour rencontrer ceux qui le veulent et qui souhaitent savoir comment soutenir durablement une mission qui leur tient à cœur. Mon travail est d'autant plus passionnant que chaque projet de transmission est différent et intimement lié à des histoires personnelles.

LEGS - DONATIONS - ASSURANCES-VIE / Demande de documentation gratuite et confidentielle

À renvoyer, sans affranchir votre enveloppe, à Médecins Sans Frontières Libre réponse - Autorisation 10617 75884 Paris Cedex 18

☐ Oui, je souhaite recevoir sans engagement de ma part, votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie.

MES COORDONNÉES ☐ M ☐ Mme

Prénom : ..... Nom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

E-mail ..... @

Téléphone : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

© MSF

Catherine Bechereau, chargée des relations testateurs, répond à vos questions en toute discrétion.

TÉL : 01 40 21 29 09
E-MAIL : relations.testateurs@paris.msf.org

Les informations recueillies dans ce formulaire sont destinées au département de la collecte de dons et aux tiers mandatés par MSF à des fins de gestion interne et pour faire appel à votre générosité. Elles ne sont conservées que pendant la durée strictement nécessaire à la réalisation de ces finalités.
Ces données peuvent faire l'objet d'un transfert, notamment vers un pays en dehors de l'Union Européenne, qui sera encadré par les garanties appropriées requises par la réglementation sur la protection des données. Conformément au RGPD et à la Loi Informatique et Libertés, vous disposez de droits sur vos données (accès, rectification, suppression, limitation, portabilité, opposition) quant à leur traitement et à leur utilisation à des fins de prospection, que vous pouvez exercer en nous écrivant par e-mail à donateurs@paris.msf.org ou par courrier à 14-34 avenue Jean Jaurès - 75019 PARIS. Pour plus d'information, vous pouvez consulter notre politique de confidentialité disponible sur notre site internet.

LEGS2220

Reconnue d'utilité publique, Médecins Sans Frontières est habilitée à recevoir des legs, donations, assurances-vie exonérés de droits de succession.

MEDECINS SANS FRONTIERES | 50 ANS D'HUMANITÉ

14-34 avenue Jean-Jaurès 75019 Paris
https://leguez.msf.fr

Quand des loutres de la taille d'un lion rôdaient en Éthiopie

PALÉONTOLOGIE Le fossile d'une gigantesque loutre de 200 kg vivant il y a 3,5 à 2,5 millions d'années aux côtés d'australopithèques a été exhumé en Éthiopie. Contrairement aux loutres modernes, *Enhydriodon omoensis* ne vivait pas dans l'eau et se nourrissait principalement de proies terrestres. C'est ce que montrent les analyses chimiques de l'émail des dents retrouvées. **R. M.**

SOURCE : CAMILLE GROHÉ, UNIVERSITÉ DE POITIERS, FRANCE.

SABINE RIFFAUT, CAMILLE GROHÉ/PALEVOPRIM/CNRS – UNIVERSITÉ DE POITIERS

« Enhydriodon omoensis » pesait 200 kg et mesurait près d'un mètre (illustration).

80 Le nombre de statues endommagées sur l'île de Pâques

PATRIMOINE **Un incendie a dévasté début octobre une centaine d'hectares du parc national de Rapa Nui et atteint la zone du volcan Rano Raraku où se trouve la carrière qu'utilisait l'ancienne civilisation indigène Rapa Nui pour fabriquer ses moais. Selon les autorités, 80 des 416 statues monumentales trônant encore sur l'île seraient endommagées, dont certaines *« irrémédiablement »*.** **H. J.**

Une dent confirme la présence d'« Homo erectus » en Géorgie

D. CHKHIKVISHVILI/REUTERS

Vieille de 1,8 million d'années, la prémolaire a été mise au jour à Kvemo Orozmani, près de Dmanisi.

PALÉOANTHROPOLOGIE La découverte d'une prémolaire préhistorique à Kvemo Orozmani, au sud de la Géorgie, confirme que ce territoire européen a été un site important de transit et d'installation pour des *Homo erectus*, des ancêtres de l'humain moderne qui sont sortis d'Afrique il y a au moins 2 millions d'années. La dent est datée de 1,8 million d'années, soit 100 000 ans de moins que les cinq magnifiques crânes déjà découverts à Dmanisi, à partir de 1991 *(lire* S. et A. *n° 814)*. **R. M.**

SOURCE : GIORGI BIDZINASHVILI, CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE EN ARCHÉOLOGIE DE TBILISSI, GÉORGIE.

L'actualité se poursuit sur Internet

www.sciencesetavenir.fr - www.larecherche.fr

PHANIE

GÉNÉTIQUE

Dépister les maladies chez les embryons « in vitro »

Le diagnostic préimplantatoire (DPI) permet de détecter quelques graves maladies génétiques, comme la mucoviscidose, en déchiffrant le génome d'un embryon. Une récente amélioration de la technique promet de déterminer avec une précision inégalée le risque de souffrir de diabète, de schizophrénie ou de certains cancers. À lire sur le site de *La Recherche*. **https://bit.ly/3Esc3B9**

MAKING OF

Les Twitch de « Sciences et Avenir »

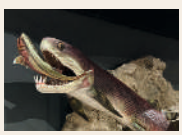
Échanges en direct avec les chercheurs, *making of* du magazine avec nos journalistes ou lancement prochain de la mission Artemis à suivre en *live*, *Sciences et Avenir* propose régulièrement sur sa chaîne Twitch d'interagir avec ses lecteurs. **sciav.fr/909twitch**

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Le plus vieux cœur du monde

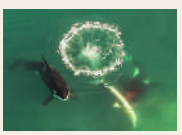


WA MUSEUM BOOLA BARDIP

Reconstitution en 3D du plus ancien cœur fossilisé jamais retrouvé. Celui d'un monstre marin de type « poisson blindé » de 400 millions d'années. **sciav.fr/909cœurp**

5 minutes

Match grands requins blancs contre orques



C. STOPFORTH

En vidéo, une observation par drone et hélicoptère montre que les grands requins blancs n'adoptent pas la bonne stratégie pour échapper à leurs prédateurs. **sciav.fr/909requins**

10 minutes

Constipation, commérage et coup de foudre

IG NOBEL

Sélection des prix Ig Nobels 2022, ces travaux scientifiques qui prêtent à rire, puis à réfléchir... L'improbabologie élevée à son sommet ! **sciav.fr/909ignobel**

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

FACE AUX ÉPIDÉMIES

DE LA PESTE NOIRE À NOS JOURS

EXPOSITION GRATUITE
12 OCTOBRE 2022
> 6 FÉVRIER 2023

Archives nationales
60, rue des Francs-Bourgeois
75003 Paris
archives-nationales.culture.gouv.fr

lundi > vendredi - 10h00 > 17h30
samedi > dimanche - 14h00 > 17h30
Fermé le mardi,
le 25 décembre et le 1er janvier

© Droits réservés / Archives nationales / Atelier Deltaèdre

MINISTÈRE DE LA CULTURE
Liberté
Égalité
Fraternité

ARCHIVES NATIONALES

Partenaires

200 ANS LOUIS PASTEUR 1822 - 1895

PUBLIC SÉNAT

SCIENCES AVENIR La Recherche

Insert

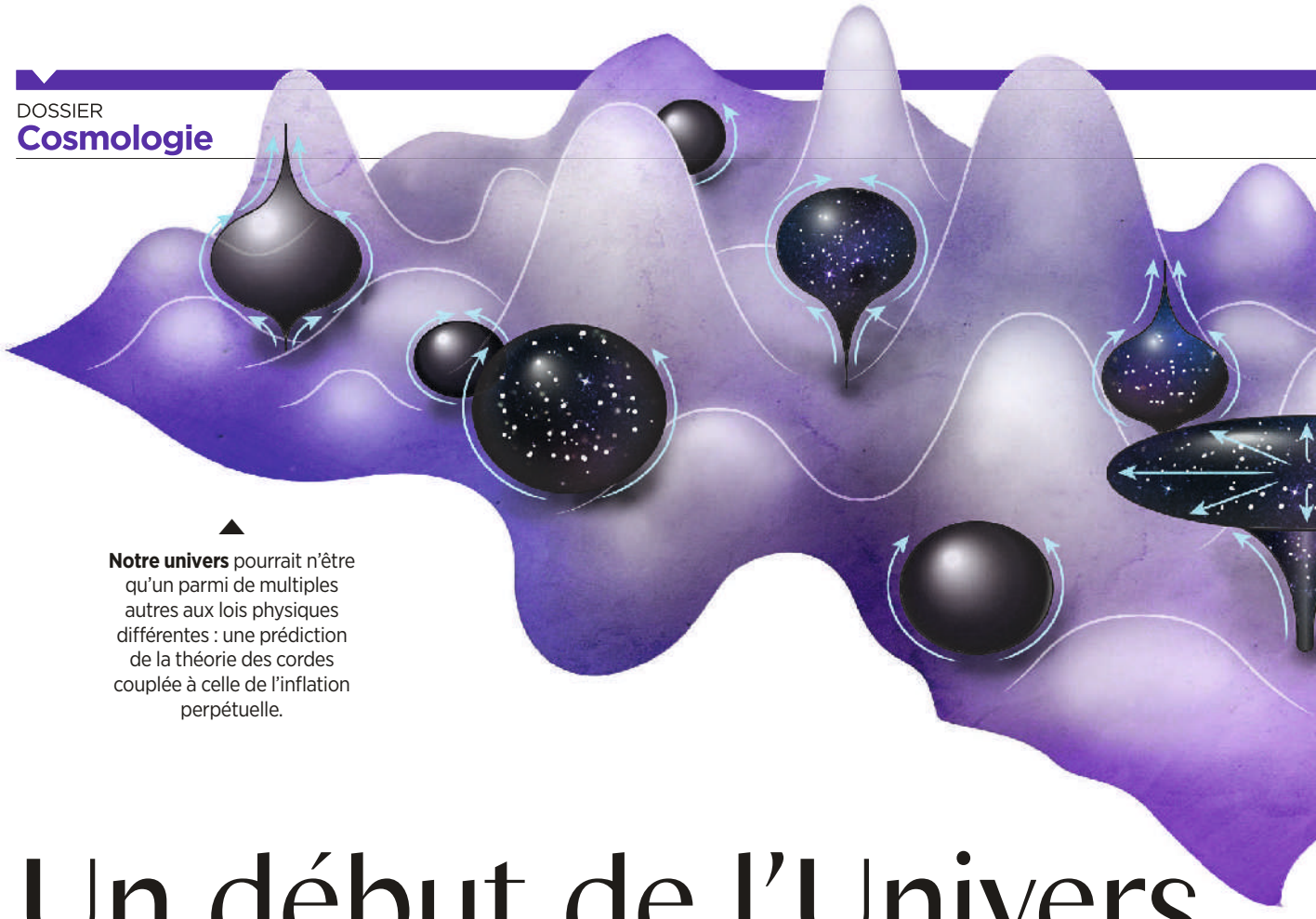
Avant le BIG BANG

Le Big Bang ne serait qu'un épisode de l'histoire de l'Univers entre phases de contraction et d'expansion, selon les cosmologies cycliques (vue d'artiste).

Dossier réalisé par
Franck Daninos et
Fabrice Nicot

Qu'y avait-il avant cet instant « 0 » qui marque le début de notre univers ? Un autre univers dont le Big Bang serait l'aboutissement d'une phase de contraction ? À moins que plusieurs univers ne cohabitent en parallèle… Les physiciens multiplient les théories et tentent de trouver les traces d'univers passés.

ILLUSTRATION BY MONDOART.NET



Notre univers pourrait n'être qu'un parmi de multiples autres aux lois physiques différentes : une prédiction de la théorie des cordes couplée à celle de l'inflation perpétuelle.

Un début de l'Univers qui fait débat

L'Univers n'a peut-être pas commencé il y a 13,8 milliards d'années. Depuis la théorie des cordes jusqu'à la gravitation quantique à boucles, les tentatives se multiplient pour supprimer cette singularité initiale d'où le temps et l'espace auraient émergé. À la clé, une nouvelle physique et d'autres univers…

Qu'y avait-il avant le Big Bang ? De quoi bouleverser toute la physique, rien de moins. Car une « préhistoire » de l'Univers est pour l'heure incompatible avec la théorie qui décrit à merveille son évolution : la relativité générale. Selon elle, un « avant-Big Bang » est tout simplement impossible, comme le rappelle l'astrophysicien Marc Lachièze-Rey : *« Notre univers décrit par les équations de la relativité générale est en expansion, conformément aux observations. En remontant dans le passé, il devient de plus en plus petit, chaud et dense jusqu'à parvenir à une singularité, que l'on appelle Big Bang. Cette singularité correspond à un instant "0", de taille nulle et de densité infinie. L'espace mais aussi le temps n'auraient existé qu'à partir de ce point. »* S'interroger sur ce qu'il y avait « avant » n'aurait donc pas de sens. Autant se demander *« ce que l'on trouve au nord du pôle Nord »*, selon une formule couramment utilisée chez les cosmologistes.

Alors, fin de l'histoire ? Non, ce serait plutôt le début. Car la singularité déplaît aux physiciens, mal à l'aise avec les zéros et l'infini qui sont plutôt l'apanage des mathématiciens. Par ailleurs, cette singularité est une prévision de la relativité générale destinée à décrire l'Univers à grande échelle, en interprétant la gravitation comme une déformation de l'es-

THE FOUNDATIONAL QUESTIONS INSTITUTE.FQXI.ORG/MAAYAN HAREL. PART (C) ADAPTED FROM ANDREW J. HANSON UNDER CC LICENSE

MICHEL LABELLE

« Cette singularité que l'on appelle Big Bang correspond à un instant "0", de taille nulle et de densité infinie »

Marc Lachièze-Rey, astrophysicien et cosmologiste, directeur de recherche émérite au CNRS

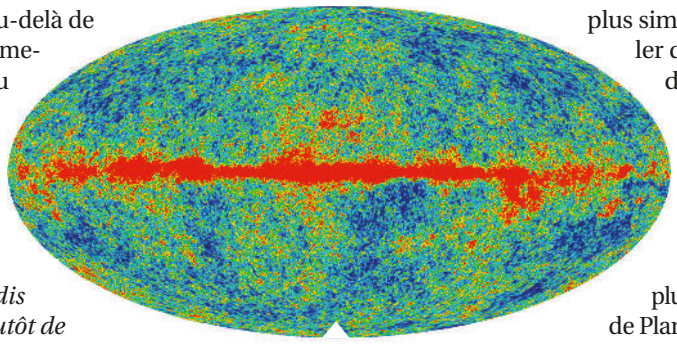
pace et du temps sous l'effet de la matière et de l'énergie. Tandis que l'Univers tout près de sa naissance avait une taille de l'ordre de 10^{-35} mètre, voire moins… À ces échelles-là, il faut recourir à la physique quantique pour le décrire. L'ennui, c'est que cette dernière ne correspond pas à une limite de la relativité générale lorsque la taille de l'Univers tend vers 0. « *Au contraire, les deux théories semblent incompatibles, comme le notait déjà Albert Einstein,* rappelle Marc Lachièze-Rey. *Par exemple, quel est le champ de pesanteur, en relativité générale, associé à une particule élémentaire dont la mécanique quantique nous dit qu'elle existe sous forme de densité de probabilité de présence ? On l'ignore. Pour une grande partie de la communauté des physiciens, la relativité générale n'est donc pas la description ultime de la gravitation. Il faut la "quantifier". Alors, nous pourrions arriver à une nouvelle description des débuts de l'Univers, où la singularité disparaît. Ce qui ouvrirait une porte vers un avant-Big Bang.* »

Avant même de se projeter au-delà de la singularité, les physiciens aimeraient déjà s'en approcher au plus près, comme l'explique Olivier Minazzoli, physicien spécialiste de la relativité à l'observatoire de Nice-Côte-d'Azur. « *Pour le grand public, le Big Bang correspond à la singularité initiale, tandis que les physiciens parlent plutôt de "modèle du Big Bang" qui décrit l'Univers lorsqu'il était très dense et très chaud. Or, ce modèle est considéré comme excellent jusqu'à environ 10^{-12} seconde après le Big Bang, alors que sa température atteignait 10 millions de milliards de degrés. Avant ? Il y a la phase d'inflation imaginée par le cosmologiste américain Alan Guth en 1980, durant laquelle la taille de l'Univers a été multipliée par un facteur gigantesque en une fraction de seconde. Si elle est largement acceptée aujourd'hui, elle n'est pas définitivement prouvée* [lire l'encadré p. 40]. *Par ailleurs, elle se serait déroulée 10^{-34} seconde après le Big Bang. Nous ne sommes même pas à la singularité…* »

Le Big Bang, grand rebond d'un univers précédent ?

Pour l'avant comme pour le juste après Big Bang, il faut donc disposer d'une gravité quantique. « *C'est un sujet majeur, et il existe un très grand nombre de tentatives. Les plus abouties sont la gravitation quantique à boucles et la théorie des cordes, même si aucune des deux ne peut être considérée comme achevée* » regrette Marc Lachièze-Rey. Pour comprendre la gravitation quantique, il faut remonter à 1966, lorsque les physiciens américains John Wheeler et Bryce DeWitt ont l'idée d'appliquer la notion de fonction d'onde, qui décrit les particules élémentaires, à l'espace-temps de la relativité générale. Ils parviennent à une équation dite de Wheeler-DeWitt qu'il est bien difficile d'interpréter. Elle n'est pas liée à la probabilité d'observer une particule, comme une fonction d'onde classique, mais certaines configurations d'espace-temps… Par ailleurs, elle est très compliquée à résoudre, donc à utiliser pour faire des prédictions sur la nature de l'espace-temps quantique. En somme, l'équation de Wheeler-DeWitt est un magnifique instrument livré sans mode d'emploi…

Les physiciens du monde entier vont s'échiner à en trouver un, avec plusieurs tentatives dont la plus aboutie est donc la gravitation quantique à boucles. Elle a été développée à partir des années 1980 grâce aux travaux notamment de l'Indien Abhay Ashtekar, puis de l'Américain Lee Smolin et de l'Italien Carlo Rovelli. L'idée consiste à réécrire l'équation de Wheeler-DeWitt sous une forme plus simple, ce qui permet de calculer quelques solutions. Sautons de nombreuses étapes pour aller au résultat final. Dans le cadre de cette théorie, l'espace n'est donc plus continu mais quantifié. Autrement dit, toute longueur géométrique est un multiple de la plus petite longueur possible, dite de Planck, de 10^{-35} mètre. L'espace à trois dimensions est donc formé de cubes de 10^{-35} mètre d'arête, qu'il est impossible de diviser davantage. Ces quanta se


NASA / WMAP SCIENCE TEAM

Le fond diffus cosmologique représente l'Univers tel qu'il était seulement 380 000 ans après le Big Bang.

trouvent à l'intersection de boucles de champ gravitationnel, que l'on pourrait rapprocher des lignes de champ magnétique d'un aimant. Le point fondamental c'est que l'espace ne pouvant être inférieur à un quantum, la singularité disparaît. Mieux, la gravitation quantique à boucles montre que lorsque l'espace atteint ce grain élémentaire, correspondant à une courbure extrême de l'espace-temps, il « rebondit ». Ainsi, le Big Bang pourrait n'être que le grand rebond d'un univers précédent en contraction sur lui-même. Avant le Big Bang il y avait donc… un autre univers.

L'hypothèse des trous noirs transformés en trous blancs

Pour l'instant, la théorie intéresse beaucoup mais laisse les astrophysiciens sur leur faim, y compris Marc Lachièze-Rey qui l'a « pratiquée » : *« Elle est très intéressante car il est possible de résoudre les équations et de voir ce que cela donne, d'où son succès. Mais pour cela, il faut faire trop d'approximations et d'hypothèses pour en tirer des conclusions sur le destin de l'Univers.* »
Un succès pour la gravitation quantique à boucles serait donc de faire des prédictions que l'on pourrait vérifier dans notre univers. Ce serait théoriquement possible. Car le Big Bang n'est pas la seule singularité envisagée. Il existe aussi les trous noirs, des puits dans l'espace-temps s'achevant en une singularité tout aussi choquante que le Big Bang. Or, en 2015, Hal Haggard et Carlo Rovelli ont démontré, dans des travaux complétés en 2018, qu'un trou noir, issu de l'effondrement gravitationnel d'une étoile sur elle-même, n'évoluait pas jusqu'à former une singularité. Arrivé au niveau du quantum d'espace élémentaire, il rebondit et se transforme en trou blanc, son exact opposé : il ne fait que « cracher » de la matière, là où le trou noir ne peut que l'absorber. La découverte de ces trous blancs serait un succès « éclatant » pour la gravitation quantique à boucles. L'ennui, c'est que les trous noirs mettraient très longtemps à parvenir à ce stade. Seuls les plus petits auraient pu opérer la conversion depuis la naissance de l'Univers. Mais celle-ci pourrait s'accompagner de sursauts gamma, ou de sursauts radio rapides, tels qu'on en détecte actuellement sans connaître précisément leur origine *(lire notre dossier dans* S. et A. *n° 907)*. Pour l'heure, aucune association trou blanc/sursaut énergétique n'a pas encore été faite.

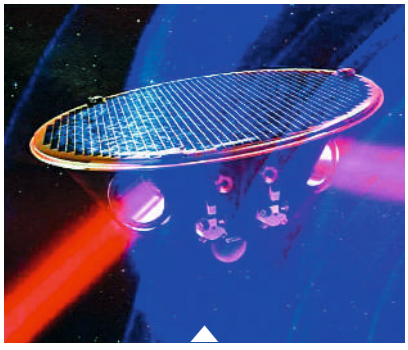
Notre univers serait une branche d'un arbre inflationnaire

Autre tentative pour réconcilier gravitation quantique et relativité générale : la théorie des cordes. Le principe de base consiste à décrire les particules comme des cordelettes à une dimension. Leurs propriétés (masse, charge…) découleraient de différents modes de vibrations dans 10 ou 11 dimensions d'espace, et non pas seulement trois, les dimensions supplémentaires étant repliées sur elles-mêmes. L'ennui avec cette théorie, c'est que selon la forme — ou « topologie » — de ces dimensions recourbées, on peut obtenir des univers aux propriétés physiques très différentes du nôtre, avec par exemple des photons dotés d'une masse, une vitesse de la lumière plus lente, etc. La théorie des cordes déboucherait ainsi sur 10^{500} configurations différentes, autant d'univers possibles ! Avant de faire des prédictions sur l'avant-Big Bang, il faudrait donc trouver les bons paramètres correspondant à notre univers. À moins que plusieurs univers ne cohabitent, ce qui résoudrait notre problème de l'avant-Big Bang…
« Cette hypothèse correspond au multivers selon la théorie des cordes, qui n'est pas la seule théorie à l'envisager, développe Olivier Minazzoli. *Elle découle du concept d'inflation éternelle imaginé par Andreï Linde à l'université Stanford (États-Unis) dès 1986. Selon lui, s'il y a eu inflation une fois, elle peut surgir en tout point de l'Univers, qui n'est plus unique. Le multivers serait alors comme un arbre inflationnaire, avec des branches où l'inflation s'arrête. Nous serions l'une de ces branches. Et chaque univers pourrait avoir une physique différente.* » Notre Big Bang ne serait donc qu'un bourgeon sur cet arbre inflationnaire. *« Oui, mais cela ne résout pas forcément la question de la singularité initiale,* complète en souriant Olivier Minazzoli. *Car le théo-*

DÉTECTION

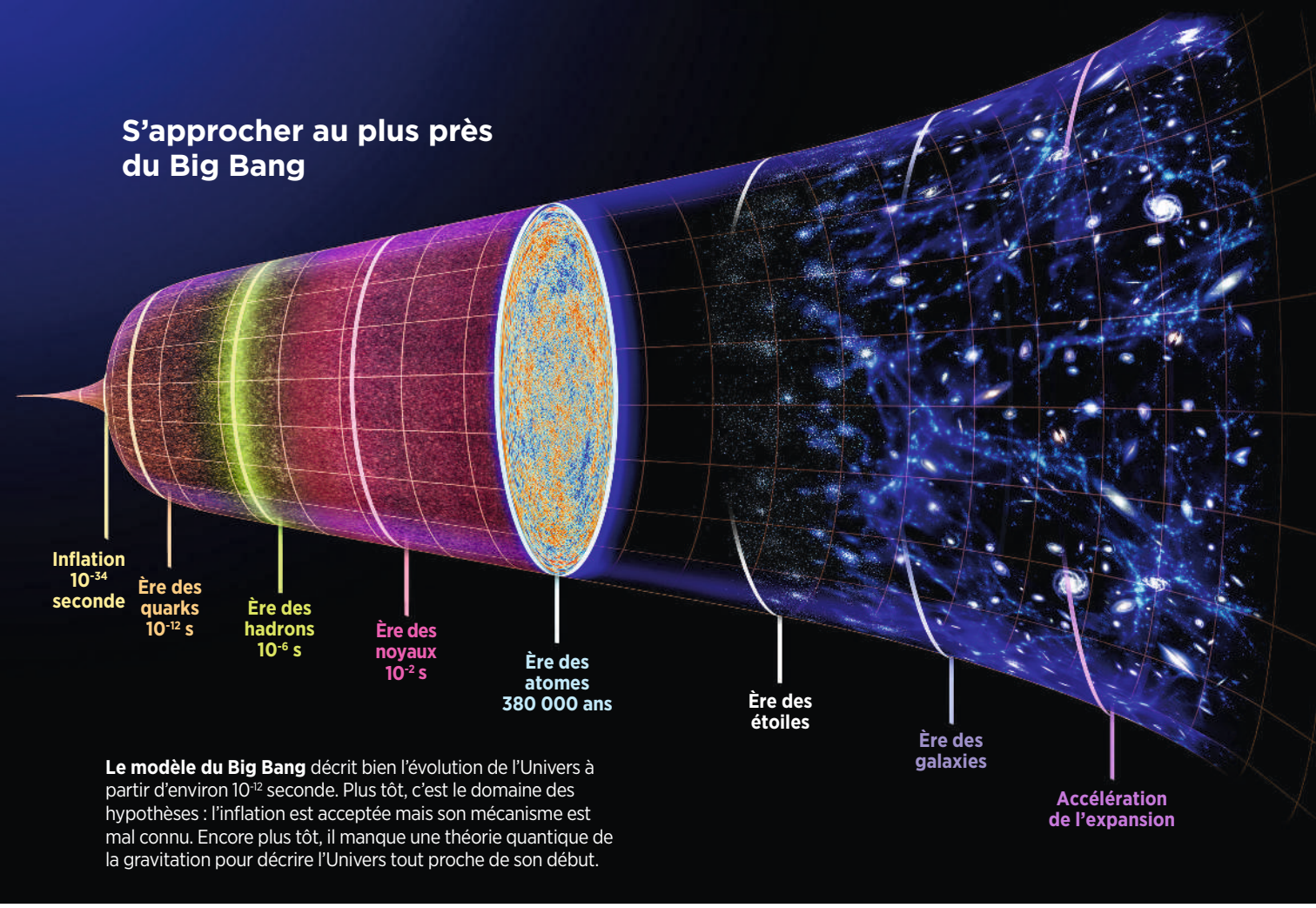
À la recherche de l'inflation

L'inflation permet d'expliquer de nombreuses caractéristiques de notre univers, notamment sa courbure et son homogénéité, d'où son succès. Mais plusieurs mécanismes sont en lice pour l'expliquer. L'observation des ondes gravitationnelles émises lors de cette formidable dilatation de l'espace et du temps permettrait de faire le tri. *« Ces ondes ont pu laisser une trace dans les photons constituant le fond diffus cosmologique en orientant d'une manière particulière leur champ électrique, donnant une "polarisation de type B" »*, explique Patrick Peter, de l'Institut d'astrophysique de Paris. Les expériences Qubic, en cours en Argentine, et BICEP3, installée en Antarctique, traquent ces polarisations dans le fond diffus cosmologique. Autre piste : mesurer directement ces ondes primordiales. Ce sera l'objectif de l'interféromètre spatial Lisa, une collaboration Nasa/ESA, dont le lancement est prévu pour 2034.



AEI/MM/EXOZET; GW SIMULATION: NASA/C. HENZE

L'interféromètre Lisa observera en 2034 les ondes gravitationnelles primordiales (vue d'artiste).



Le modèle du Big Bang décrit bien l'évolution de l'Univers à partir d'environ 10^{-12} seconde. Plus tôt, c'est le domaine des hypothèses : l'inflation est acceptée mais son mécanisme est mal connu. Encore plus tôt, il manque une théorie quantique de la gravitation pour décrire l'Univers tout proche de son début.

PIERRE CARRIL

rème Borde-Guth-Vilenkin, développé en 2003 à partir d'arguments mathématiques, démontre que même le multivers devrait avoir une singularité… » Pour Marc Lachièze-Rey, on ne peut même plus parler de multivers : *« C'est un univers avec des morceaux très séparés (causalement) entre eux, qui ne sont pas d'autres univers.* »

Pour y voir plus clair parmi les différentes théories, les chercheurs sont désespérément à la recherche de preuves. Et pourquoi pas en tentant de « voir » le Big Bang ? Après tout, les télescopes de plus en plus puissants permettent d'observer l'Univers de plus en plus jeune. Hélas, la machine à remonter le temps s'arrêtera toujours 380 000 ans après le Big Bang, lorsque fut émise la première lumière de l'Univers. Avant, il était trop chaud et trop dense pour laisser filer les photons. Cette première lumière, le fond diffus cosmologique, a été enregistrée avec une grande précision par le satellite Planck jusqu'en 2018. Un terrain de chasse pour y découvrir des traces d'un univers pré-Big Bang, selon le physicien théoricien Patrick Peter. *« Le fond diffus cosmologique a pu garder l'empreinte d'événements antérieurs à son émission, notamment les fluctuations quantiques du vide. La plupart des théories partent du principe qu'initialement, l'Univers était dans un état de vide quantique. Un vide en moyenne, mais en un point donné, il y a de l'énergie. Ces fluctuations peuvent se lire dans le fond diffus cosmologique, grâce à une étude statistique des températures en différents points. Cela peut donner des indications sur l'état de l'Univers tout près du Big Bang, et c'est ce que l'on essaie de faire.* » Mais pourra-t-on lire les traces d'un avant-Big Bang ? *« Impossible à dire pour le moment,* conclut Patrick Peter. *Tout ce que l'on peut faire, c'est élaborer le plus grand nombre de théories possibles et calculer leurs conséquences sur le fond diffus cosmologique. Ce que l'on nomme des observables. Si plusieurs d'entre elles sont au rendez-vous, on pourra alors déterminer quelle théorie les avait prédites. Ce qui nous mènera, peut-être, à une description d'un avant-Big Bang…* » Lire le passé dans le fond diffus cosmologique mobilise nombre de cosmologistes, et non des moindres. Le prix Nobel 2020 Roger Penrose propose d'y trouver la preuve que notre univers est cyclique. Une étonnante histoire à découvrir dans les pages suivantes… ■ **F. N.** @fnicot07

PATRICK PETER

« Calculer les conséquences des théories sur le fond diffus cosmologique pourrait nous mener à une description d'un avant-Big Bang »

Patrick Peter, physicien théoricien, directeur de recherche à l'Institut d'astrophysique de Paris

La quête des traces d'un univers précédent

Voici un siècle qu'a germé l'idée que des univers pourraient se succéder de manière cyclique, alternant phases d'expansion et de contraction du cosmos. Une autre théorie se démarque, celle du prix Nobel de physique 2020, Roger Penrose. Selon lui, les Big Bang s'enchaînent et l'univers précédent aurait laissé des traces qui restent à découvrir.

Dans un futur extrêmement éloigné, l'Univers se sera tellement étendu et refroidi qu'il ne sera plus capable de former des galaxies ni de nouvelles étoiles. Il connaîtra alors une lente agonie marquée par la dislocation des superstructures et la décrépitude des dernières étoiles, englouties notamment dans de gigantesques trous noirs. Or, tandis que le cosmos continuera à jamais de s'étendre, suscitant toujours plus d'isolement, de vide et d'obscurité, sa température tendra inexorablement vers le zéro absolu (-273,15 °C), la plus basse possible. Ce sera la « mort thermique » de l'Univers. Un scénario privilégié aujourd'hui par une majorité d'astrophysiciens et qui pourrait se produire dans 10^{100} années. Donc la fin de toute chose, figée dans le silence et un « ennui » éternels ?

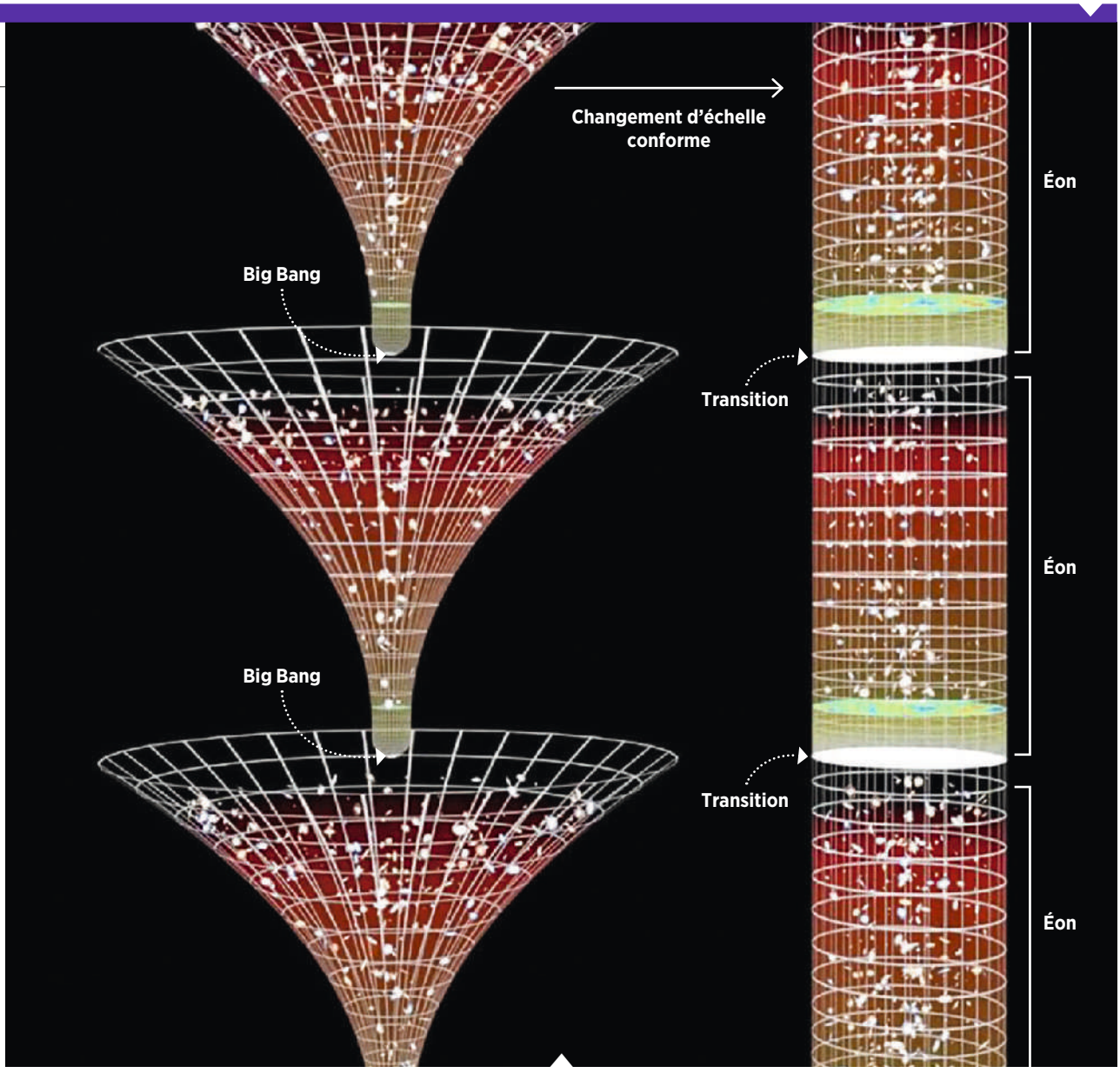
Lauréat en 2020 du Nobel de physique, le Britannique Roger Penrose défend depuis une dizaine d'années une tout autre hypothèse. Il suppose, de manière aussi provocatrice que paradoxale, que le cosmos retournera dans un très lointain avenir à sa situation originelle : soit un état extrêmement condensé et chaud, qui engendrera alors un nouveau cycle de formation d'étoiles. De façon analogue, les débuts de l'Univers résulteraient eux-mêmes d'une évolution antérieure… et donc d'un avant-Big Bang ! Roger Penrose est même persuadé d'avoir identifié des preuves : des phénomènes astrophysiques qui pourraient en quelque sorte traverser le Big Bang, passant ainsi d'un univers à un autre, incidemment décelés par plusieurs télescopes. *« Aucune ne fait*

NIKLAS HALLE'N / AFP

PORTRAIT

Roger Penrose, un Nobel génial aux contributions éclectiques

Né en 1931 à Colchester, au Royaume-Uni, actuellement professeur émérite à l'université d'Oxford, sir Roger Penrose (il a été anobli en 1994 par la reine Elisabeth II) poursuit une carrière aussi féconde que diversifiée. Après un doctorat dans le domaine de la géométrie algébrique, il se passionne dès les années 1960 pour la cosmologie. Et réalise des contributions majeures pour la théorie de la relativité générale et la physique des trous noirs (récompensées un demi-siècle plus tard par un prix Nobel), avant de s'intéresser aux théories quantiques de la gravitation. Il développe, depuis une trentaine d'années, une série de réflexions connectant les lois de la physique à la conscience humaine.

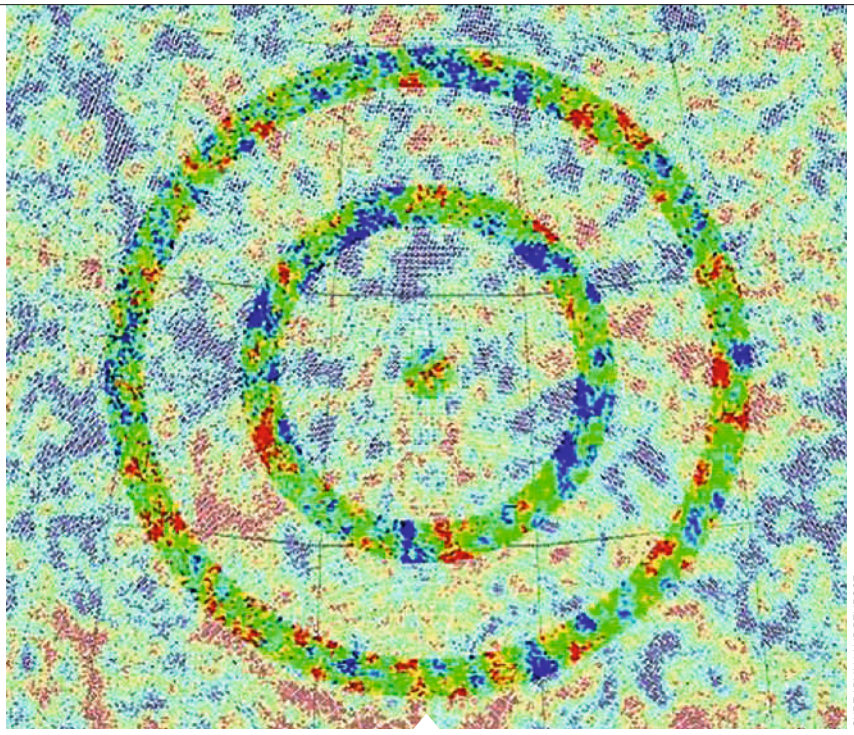


Selon la théorie de la cosmologie conforme cyclique émise par Roger Penrose, l'Univers connaîtrait une succession potentiellement infinie de périodes appelées « éons ».

consensus. Et ces conceptions restent très minoritaires, rappelle Jean-Pierre Luminet, directeur de recherche au Laboratoire d'astrophysique de Marseille (Lam). *Elles n'en demeurent pas moins extrêmement séduisantes, tant pour leur créativité que pour les nouvelles lueurs physiques et philosophiques qu'elles pourraient nous transmettre.* » L'idée d'une cosmologie cyclique n'est certes pas nouvelle (*lire l'encadré p. 45*). On dénombre même plusieurs centaines de modèles : très variés dans leurs présupposés et tous spéculatifs, mais partageant l'idée que l'Univers aurait connu pour ainsi dire plusieurs « vies ». Comme la plupart des adeptes de cette hypothèse, Roger Penrose ne se satisfait pas d'une singularité primordiale où les équations de la relativité générale divergent et où les densités d'énergie tendent littéralement vers l'infini. Il rejette aussi la théorie de l'inflation, cette phase de gonflement exponentiel qu'aurait connu l'Univers une fraction de seconde après le Big Bang *(lire p. 40)*. Car pour le scientifique britannique, *« un des esprits les plus puissants et originaux que j'ai pu rencontrer »*, souligne Jean-Pierre Luminet, cette théorie revêt un caractère beaucoup trop arbitraire. Et ne résoudrait en rien l'énigme de l'état initial de l'Univers, le niveau d'organisation qui y régnait en particulier.

Mais à la différence des autres cosmologies oscillatoires, celle de Roger Penrose ne décrit pas une alternance de phases d'expansion et de contraction du cosmos, passant à chaque fois par des « goulets d'étranglement ». Elle présume, plutôt, que l'Univers ne subirait que des phases d'expansion. Et que leurs stades d'évolution ultime — soit de quasi-mort thermique — les ramèneraient inéluctablement vers des états extraor-

dinairement denses et chauds, donc de nouveaux Big Bang. Comment cela serait-il possible ? Roger Penrose exploite pour cela un certain type d'opérations mathématiques appelées « transformations conformes ». *« Elles modifient les distances — et donc la taille des objets — mais conservent les angles,* explique François Béguin, du Laboratoire analyse, géométrie et applications (Laga) de l'université Sorbonne Paris Nord. *C'est par de telles transformations, par exemple, que le globe terrestre est représenté sur les cartes de navigation maritime : les distances sont contractées ou dilatées au voisinage de chaque point mais les directions restent les mêmes.* » Or, en combinant de telles opérations aux équations de la relativité générale, le Britannique établit une équivalence entre un stade d'expansion infini de l'Univers et un état primordial infiniment contracté. La métrique de l'espace-temps se prolonge ainsi d'un bord d'univers à un autre. *« Et ceux-ci se connectent deux à deux sans passer par une singularité, s'*émerveille François Béguin. *C'est certes une vue purement mathématique de la réalité, mais toutes les théories physiques peuvent être considérées comme telles.* »



GURZADYAN AND PENROSE

Ces cercles concentriques seraient l'une des signatures de la cosmologie cyclique conforme. Ils résulteraient de la collision des ultimes trous noirs de l'éon précédent, qui laisseraient une trace dans les cartes du fond diffus cosmologique.

Des particules sans masse, une condition indispensable

Pour que cette « cosmologie cyclique conforme » — retenez l'acronyme CCC — ait un sens physique et fonctionne, une condition doit néanmoins être respectée : toutes les particules doivent avoir une masse nulle, à l'instar des photons, au début et à la fin de chaque univers — Roger Penrose parle d'« éon », se référant à la divinité grecque de l'éternité. Sans quoi la symétrie conforme est perdue. Pour le stade initial, en deçà de 10^{-32} seconde, la théorie ne rencontre pas de grande difficulté. Car le fameux boson de Higgs n'aurait pas encore conféré leur masse aux différentes particules (protons, électrons, etc.). Et les températures étaient de toute façon si élevées que l'énergie cinétique des particules — et non celle liée à leur masse — avait largement le dessus. C'est plus problématique à l'autre bout du temps. Rien n'atteste, en effet, qu'un univers extrêmement âgé ne contienne que des particules sans masse. Roger Penrose s'appuie néanmoins sur plusieurs phénomènes plausibles. Telle la désintégration des protons, jamais observée en laboratoire mais qui pourrait se produire dans 10^{29} années. Ou l'évaporation quantique des trous noirs, qui, au bout de 10^{100} années, libéreraient toute l'énergie qu'ils renferment sous forme de photons. Or, la notion d'espace-temps perdrait toute pertinence dans un univers dénué de particules massives. *« Tout se passerait comme si sa géométrie ne se souvenait plus des distances comme du temps qui s'écoule* », constate Jean-Pierre Luminet. Seule subsisterait sa structure conforme, suscitant une sorte d'écrasement et faisant correspondre la fin au début.

Mais les spéculations du génial mathématicien ne s'arrêtent pas là. Car selon ses calculs, les derniers événements de l'éon antérieur devraient laisser des traces dans notre propre univers ! En 2010, avec le cosmologiste arménien Vahe Gurzadyan, il prédit ainsi que le fond diffus cosmologique, soit la première lueur du cosmos émise 380 000 ans après le Big Bang et qui baigne encore

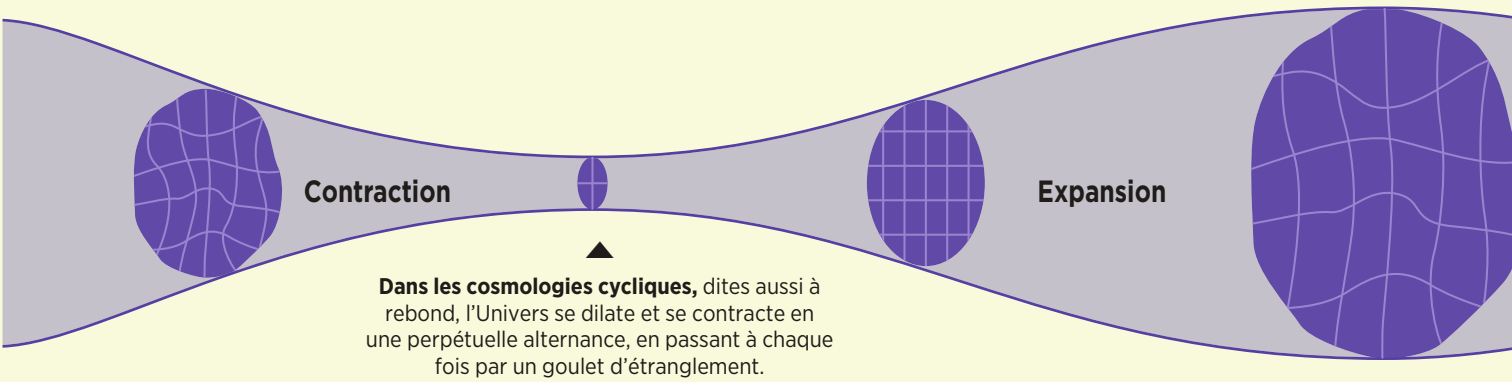
ARNAUD MEYER/OPALE/LEEXTRA

« Tout se passerait comme si la géométrie de l'Univers ne se souvenait plus des distances comme du temps qui s'écoule »

Jean-Pierre Luminet, directeur de recherche au Laboratoire d'astrophysique de Marseille

THÉORIES

L'hypothèse de l'éternel retour



Dans les cosmologies cycliques, dites aussi à rebond, l'Univers se dilate et se contracte en une perpétuelle alternance, en passant à chaque fois par un goulet d'étranglement.

BRUNO BOURGEOIS

C'est en 1922, il y a tout juste un siècle, que l'hypothèse d'une cosmologie cyclique a été pour la première fois formalisée. Reprenant les équations de la relativité générale d'Albert Einstein, le Russe Alexandre Friedmann découvre alors des solutions que le physicien n'avait pas envisagées. Celle d'un univers en expansion, en particulier. Mais Alexandre Friedmann réalise aussi (en partant du principe que l'Univers est fermé et en fonction de la quantité de matière qu'il renferme) que cette dynamique pourrait au bout d'un certain temps s'arrêter. Et même s'inverser, sous l'effet de l'attraction gravitationnelle, jusqu'à revenir à l'état d'origine… *« Un peu comme une balle propulsée vers le ciel,* explique Yann Mambrini du Laboratoire de physique des 2 infinis Irène-Joliot-Curie (IJCLab) à l'université Paris-Saclay. *Selon l'énergie de départ, elle peut soit être satellisée, soit atteindre un quasi-équilibre, soit encore retomber.* » La possibilité d'une suite incessante de phases d'expansion et de contraction de l'Univers est explorée en 1931 par l'Américain Richard Tolman. *« Il est le premier à imaginer une infinité de cycles,* souligne Yann Mambrini, *telle une balle qui rebondirait sans fin.* » Une solution que le chanoine et astronome belge Georges Lemaître qualifie en 1933 d'univers-phénix, à l'instar de l'oiseau mythique renaissant périodiquement de ses cendres. Mais cette perspective génère un tas d'interrogations, au regard du second principe de la thermodynamique notamment, selon lequel l'entropie (ou la quantité de désordre) ne peut qu'augmenter. Car pour respecter cette loi fondamentale, observe Richard Tolman, le rayon de l'Univers et la durée de chaque cycle devraient croître eux aussi au cours du temps. Telle une balle, pour poursuivre notre analogie, qui rebondirait toujours de plus en plus haut… mais en partant de quelle situation et jusqu'à quand ? *« Depuis les années 1930 et aujourd'hui encore, l'entropie pose des difficultés majeures aux modèles d'univers cycliques* », souligne Killian Martineau, du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie (LPSC) à l'université de Grenoble. Sans compter les problèmes liés à la description physique de chaque rebond… Ou au fait, comme on le sait depuis 1998, que l'expansion de l'Univers s'accélère sous l'effet d'une mystérieuse énergie noire. Pour les résoudre, le cosmologiste américain Paul Steinhardt développe une panoplie de modèles, dont la dernière version a été publiée en janvier. *« Elle nécessite que l'accélération actuelle de l'expansion provienne d'un champ d'énergie dynamique, évoluant dans le temps, qui se transformerait ensuite pour enclencher une contraction. Des hypothèses qui, mises bout à bout, restent encore très spéculatives* », estime Killian Martineau. ■

tout l'espace, garderait de telles cicatrices. Elles résulteraient des ultimes trous noirs de l'éon précédent, qui, après s'être attirés et avoir fusionné, auraient généré des trains d'ondes gravitationnelles. Or, ces oscillations de la trame de l'espace-temps auraient laissé une empreinte dans le fond diffus cosmologique, sous forme de petits excès d'énergie dessinant des cercles concentriques. Pour les deux chercheurs, les relevés de l'observatoire de la Nasa WMAP contiennent de telles structures. Tout comme les mesures du télescope européen Planck, plus précises, soutiennent-ils en 2016. Mais leurs arguments ne convainquent pas. Les spécialistes du fond diffus cosmologique font en effet remarquer que *« dans des cartes aussi complexes, on peut trouver tous les motifs imaginables sans que cela signifie quoi que ce soit,* rappelle Jean-Pierre Luminet. *Une équipe canadienne s'est même amusée à chercher des triangles équilatéraux concentriques… et les a trouvés.* »

À la recherche de nouvelles signatures

Nullement découragés, Roger Penrose et ses collaborateurs ont cherché d'autres signatures. Parmi elles, les rayonnements émis lors de l'évaporation des ultimes trous noirs de l'éon précédent. Ils laisseraient, eux aussi, une trace dans le fond diffus cosmologique, créant des sortes de spots plus lumineux baptisés « points de Hawking ». Là encore, les relevés des satellites Planck et WMAP en témoigneraient, annoncent les prosélytes. D'abord en 2018, puis de manière plus détaillée en 2020. *« Nos conclusions reposent sur les jeux de données totalement différents de ces deux télescopes, et pourtant elles coïncident »*, nous a ainsi réaffirmé Vahe Gurzadyan. Pour les cercles concentriques comme les points de Hawking.

En juin, des physiciens américains dirigés par Eve Bodnia de l'université de Californie, à Santa Barbara, se sont penchés sur ces nouveaux résultats. Et les ont dans un premier temps reproduits. Mais les chercheurs ont également découvert que les cartes du fond diffus cosmologique comportaient des pixels plus brillants que les autres : *« Ce sont des sortes d'anomalies qui pourraient provenir d'amas d'étoiles ou encore de problèmes de mesure »*, précise Eve Bodnia. Or, sans ces artefacts, les cercles concentriques n'apparaissent plus ! À l'aide d'un algorithme d'apprentissage automatique et d'un supercalculateur, l'équipe américaine a par ailleurs analysé 50 millions de motifs dans les cartes du satellite Planck. Résultat : l'existence des points de Hawking ne peut être statistiquement démontrée. *« Si nos travaux n'invalident pas la cos-*

THOMAS LEPELTIER

DOCTEUR EN ASTROPHYSIQUE, CHERCHEUR INDÉPENDANT EN HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES

« L'Univers dans son ensemble nous échappera toujours »

À quand remontent les réflexions sur un possible univers qui aurait précédé le nôtre ?
Les spéculations sur une phase de l'Univers qui aurait précédé la phase d'expansion actuelle sont anciennes. Elles sont apparues dès le début des années 1920, quand les premiers modèles d'un univers dynamique ont été développés à partir de la relativité générale d'Einstein. Ces interrogations se sont taries à partir des années 1960, lorsque le modèle du Big Bang l'a emporté sur les modèles concurrents — celui de l'état stationnaire en particulier. Avec ce modèle, selon lequel l'Univers se serait développé à partir d'une phase extraordinairement dense et chaude, les scientifiques décrivaient en effet une histoire du cosmos, comme si tout provenait ou émergeait de ce « moment originel » que l'on appelle justement le Big Bang. Mais ils ont été confrontés à une série de problèmes qui a redonné de la vigueur aux spéculations.

Quelles sont ces difficultés ?
L'existence, tout d'abord, d'une singularité initiale — assimilée au Big Bang lui-même — où les équations de la relativité générale divergent et cessent d'être opérantes. Puis l'invention de l'inflation primordiale, cette phase de gonflement faramineux qui se serait produite une fraction de seconde après le Big Bang et apparaît indispensable au modèle. Elle résulterait d'un hypothétique champ d'énergie appelé « inflaton ». Or, les versions les plus courantes de cette théorie, dénommées « inflations éternelles », prédisent que la dilatation hyper-rapide s'interromprait dans certaines régions de l'espace, ce qui donnerait naissance à un univers, tout en se poursuivant ailleurs, engendrant ainsi une multitude d'univers. Les

MARK CHILVERS/PANOS/REA POUR SCIENCES & AVENIR-LA RECHERCHE

cosmologistes se sont retrouvés ainsi débordés par leur projet de décrire l'Univers dans son ensemble, leurs théories les conduisant à chaque fois vers des « au-delà » : soit spatiaux, comme dans le cas des univers parallèles, soit temporels comme dans le cas des univers cycliques. D'où le foisonnement des recherches actuelles sur un avant-Big Bang.

Sont-elles scientifiquement légitimes ?
Au début du XIXe siècle, le philosophe Auguste Comte était persuadé que l'on ne connaîtrait jamais la composition des étoiles puisqu'on ne peut pas y avoir accès. Mais il a été démenti quelques dizaines d'années plus tard avec le développement de la spectroscopie astronomique. Il ne faudrait pas commettre une erreur similaire concernant l'avant-Big Bang : des indices seront peut-être un jour mis en évidence ! Ces recherches restent cependant très spéculatives. Celles qui se concentrent sur la phase extrêmement dense et chaude identifiée au Big Bang tout comme celles, plus globales, imaginant une succession d'univers antérieurs au nôtre. Les premières s'appuient sur la théorie des cordes ou de la gravitation quantique à boucles qui visent à unifier la mécanique quantique et la relativité générale. Mais aucune n'a vraiment abouti et toute vérification expérimentale apparaît encore illusoire, ou du moins très lointaine. Les cosmologies cycliques — des sortes d'univers parallèles non pas dans l'espace mais dans le temps — reposent, elles aussi, sur de très hypothétiques ingrédients.

La cosmologie cyclique de Roger Penrose propose des preuves mesurables. Un gage de crédibilité ?
Comme d'autres partisans des cosmologies cycliques, Roger Penrose estime que le Big Bang n'aurait pas effacé toutes les traces de l'univers précédent et que certaines seraient toujours détectables. C'est ce qui ferait que sa théorie ne serait pas une simple spéculation ! Ce critère ne saurait néanmoins suffire. Car pour qu'une théorie devienne vraiment crédible, il faut aussi qu'elle décrive et prédise correctement un grand nombre de phénomènes. Et cela, mieux que les modèles concurrents. Dès lors, même si les prédictions de Roger Penrose étaient corroborées par quelques mesures expérimentales, son modèle aura du mal à s'imposer. En outre, bien peu d'éléments de la phase précédente et encore moins de l'ensemble des cycles peuvent être corroborés. Dans le meilleur des cas, il restera donc dans le registre des simples plausibilités, ce qui est une autre façon de parler de spéculations ! Rien d'étonnant. Car dès que nous dépassons notre « voisinage » spatial ou temporel, nous butons sur des apories, sur les limites de notre propre pensée et sur notre incapacité à appréhender le tout. ■

Propos recueillis par F. D.

mologie cyclique conforme de Roger Penrose — que je trouve personnellement fascinante —, ils montrent que cette théorie n'est pas étayée par les données actuelles du fond diffus cosmologique », signale Eve Bodnia. Pour poursuivre les investigations, ajoute la physicienne, il faudrait soit des mesures plus précises du fond diffus cosmologique, soit d'autres prédictions théoriques — sur la distribution ou la formation des galaxies par exemple. « *Nous envisageons actuellement d'autres signatures possibles de la CCC* », nous annonce du reste, et sans autre forme de précision, Vahe Gurzadyan. Mais même si ces travaux sont voués à l'échec, « *ils poussent les partisans de la cosmologie standard à renforcer leurs arguments* », relève Jean-Pierre Luminet. Et illustrent l'importance de penser parfois hors du cadre pour faire de nouvelles découvertes. « *Car il en va des théories comme de la pêche,* conclut l'astrophysicien. *Seul celui qui lance risque d'attraper quelque chose.* » ■

F. D.

@fdaninos

Et l'IA transforma les mots en pixels

Poussés par de nouvelles méthodes de génération automatique d'images, des algorithmes permettent d'obtenir des résultats visuels à partir de textes. À la croisée du traitement du langage naturel et de la reconnaissance d'images, ces outils sont aussi captivants que troublants.

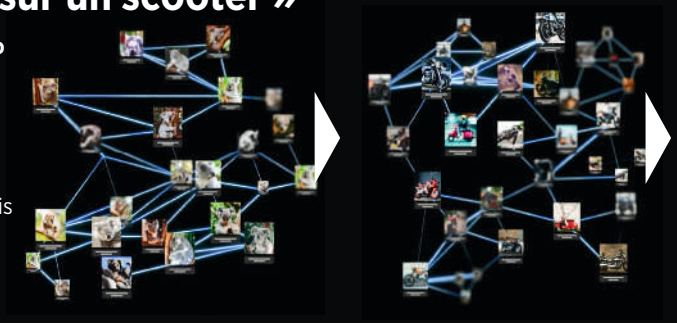
Est-ce une image réelle ou produite par un algorithme ? Régulièrement, les progrès stupéfiants des intelligences dites artificielles (IA) brouillent un peu plus la frontière entre le réel et son imitation. Les premiers mois de 2022 ont permis de franchir une étape inédite : arrivés à maturité, des travaux de recherche permettent, de façon troublante, de transformer des mots en images (photos, dessins, croquis, simili-collages…) sur un écran d'ordinateur. Les plus performantes de ces technologies ne sont encore qu'en accès restreint. Mais pour nous en convaincre, d'autres sont d'ores et déjà accessibles en ligne. Dall-E 2 (nom combinant celui de Salvador Dalí et du robot Wall-E du film éponyme) est la plus connue. Elle a été dévoilée en avril par le centre privé de recherche en intelligence artificielle OpenAI, fer de lance de ces développements. Craiyon en est une version simplifiée pour le grand public. Imagen, de Google, et StableDiffusion, conçu par un groupe de recherche de l'université Louis-et-Maximilien de Munich (Allemagne) avec la start-up Stability.AI, sont spécialisés dans les rendus photoréalistes. Ceux de Midjourney, de la start-up américaine du même nom, ont une esthétique d'œuvres d'art. En juin, l'hebdomadaire britannique *The Economist* s'en est même servi pour concevoir sa une : un visage rétrofuturiste sur fond de formes géométriques colorées, qui illustrait un dossier consacré aux *« nouvelles frontières de l'intelligence artificielle »*.

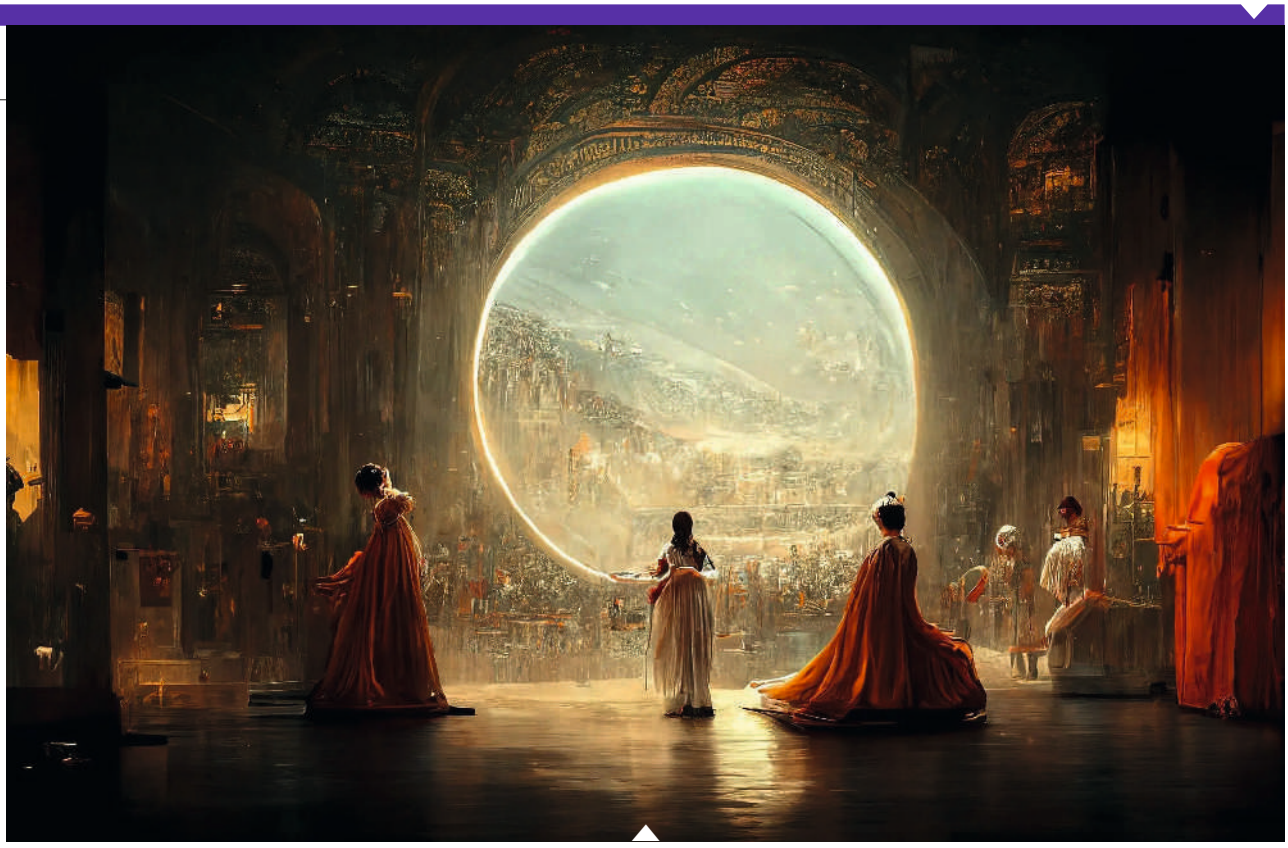
Ce courant porte un nom : le « text-to-image ». Première étape, l'utilisateur génère des visuels à partir de mots et de phrases en langage naturel. Mais l'état des recherches permet d'aller beaucoup plus loin. En y ajoutant des termes comme « feutre », « fusain », « aquarelle », mais aussi « Van Gogh » ou « Dali », par exemple, il peut leur appliquer le style graphique correspondant.

Les niveaux de détails, de fidélité au descriptif proposé, de réalisme des textures peuvent être confondants, même pour des textes absurdes. En témoigne la capacité d'Imagen à produire l'image d'un *« raton laveur portant un casque d'astronaute, en train de regarder par la fenêtre la nuit »*. Un résultat spectacu-

« Un koala sur un scooter »

Pour obtenir la photo demandée, l'algorithme Dall-E 2 s'est entraîné sur des images combinant plusieurs objets, comme s'il avait appris à partir de plusieurs bases de données en même temps.





JASON M. ALLEN VIA MIDJOURNEY

Intitulé « Théâtre d'opéra spatial », ce tableau lauréat d'un concours d'art numérique a été généré par une IA à partir d'instructions écrites.

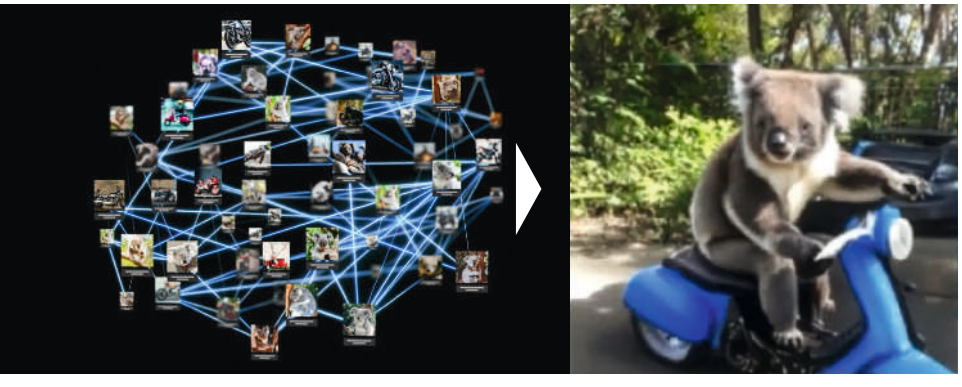
laire, mais qui demande de beaucoup tâtonner sur le texte avant d'obtenir un résultat satisfaisant.

Rarement, cependant, des travaux de recherche se sont retrouvés aussi vite au cœur de questions de société, d'art et d'économie. Pour preuve : fin août, un tableau intitulé *Théâtre d'opéra spatial,* généré par Midjourney et présenté comme tel au jury, a gagné un concours d'art numérique à la Colorado State Fair (États-Unis). Un verdict qui a immédiatement suscité la colère des autres artistes, qui, eux, avaient eu recours à des logiciels d'infographie classiques. Le lauréat (ou plutôt coauteur) humain a dû se défendre en expliquant avoir passé 80 heures de travail, modifiant son texte, corrigeant à la main des éléments avant d'aboutir à l'œuvre finale.

Des résultats différents selon les bases de données d'images

La démarche pose néanmoins question. L'artiste dépend ici de bases de données sur lesquelles sont entraînés les algorithmes. Or, celles-ci ont des implications sur leurs performances, sans parler des biais qu'elles peuvent induire *(lire l'encadré p. 50). « On peut obtenir des rendus très différents entre un algorithme entraîné sur une collection d'images diffusées sur Facebook et le même algorithme entraîné sur des images issues de Flickr,* explique Michel Nerval, cofondateur du studio de création numérique U2p050. *Certains sont également beaucoup mieux entraînés que d'autres.* » Le studio a publié en septembre le roman graphique *Moebia*, « dessiné » par l'algorithme VQGan+Clip à partir d'une nouvelle. Mais il a fallu tester et choisir parmi cinq bases de données. *« De manière générale, nous commencions par rentrer une phrase écrite pour le livre. Parfois, cela donnait directement le résultat attendu, mais parfois, des phrases trop longues "perdaient" l'IA et ne fonctionnaient pas. Il nous a fallu dans ce cas plutôt travailler par mots-clés afin d'orienter l'algorithme* », détaille Michel Nerval.

La révolution du « text-to-image » est en réalité un prolongement des IA dites génératives, comme les GANs, ou réseaux génératifs antagonistes, apparus en 2014 *(lire* S. et A. *n° 858, août 2018)*. Cette



OPENAI

approche consiste à faire s'« affronter » deux algorithmes, l'un créant un contenu, le second le jugeant acceptable ou non. Elle est d'ailleurs parfois combinée à la saisie de texte, comme dans GauGan 2 du géant des processeurs graphiques Nvidia.

L'algorithme lie une description à une image qu'il n'a jamais vue

« *L'innovation, du point de vue du texte, vient du modèle Clip, qui permet de représenter dans un espace commun le texte et les images* », note Matthieu Labeau, spécialiste du traitement automatique du langage à Télécom Paris. Publié en janvier 2021 par OpenAI, Clip est entraîné sur 400 millions d'images et leurs descriptions textuelles trouvées sur Internet (légendes, métadonnées), et non plus sur des images dotées d'une étiquette sommaire (« chien », « chaise ») comme dans les jeux de données destinés aux chercheurs. L'aspect massif de ce matériau d'entraînement rend alors l'algorithme capable d'extrapoler pour associer une description à une image qu'il n'a jamais vue.

L'objectif initial d'OpenAI était de pouvoir indexer et classer plus efficacement des images. Clip peut aussi servir à rechercher des images similaires ou à faire de la modération de contenus. Mais ce projet a mené la société à développer l'algorithme génératif Dall-E, dont la première version est sortie en même temps que Clip. « *Notre modèle se rapproche de celui de GPT* [modèle de traitement du langage naturel créé lui aussi par OpenAI], *consistant à prédire un élément à la fois* [mot, article, espace, ponctuation…] *sauf qu'au lieu d'être des mots, ces éléments consistent en des bouts d'image* », explique le créateur de Craiyon Boris Dayma.

NVIDIA

L'outil GauGan de Nvidia permet de générer des photos à partir de croquis grossiers. Il préfigure GauGan 2 qui part, lui, d'un descriptif textuel.

Pour le volet « image », une autre approche est impliquée : la « diffusion ». Ce type d'algorithme d'apprentissage profond produit du « bruit », c'est-à-dire un nuage de pixels aléatoire. Puis il « débruite » graduellement en réorganisant les pixels non plus aléatoirement mais en tenant compte du texte décrivant l'image voulue. C'est l'efficacité de cette approche qui permet le photoréalisme de Dall-E 2, mal géré par la première version (qui n'utilisait pas la diffusion) ou Imagen.

Ce n'est qu'un commencement. Début septembre, une équipe du Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, États-Unis) présentait Composable Diffusion, une amélioration de la diffusion. « *Les algorithmes actuels de "text-to-image" ont quelques difficultés à générer des scènes issues de descriptions complexes, par exemple quand il y a plusieurs adjectifs ; des éléments peuvent être absents de l'image* », note Shuang Li, coauteure de l'étude. L'approche proposée fait alors intervenir plusieurs modèles de diffusion, chacun prenant en compte un bout de phrase. Ce qui tend à montrer, une fois de plus, que si l'IA fait preuve d'aptitudes époustouflantes, l'humain reste aux commandes. C'est lui qui maîtrise le code, le publie ou non, l'améliore, fait évoluer les modèles, décide des jeux de données d'entraînement. Si créativité des machines il y a, elle dépend (encore) de l'humain. ■

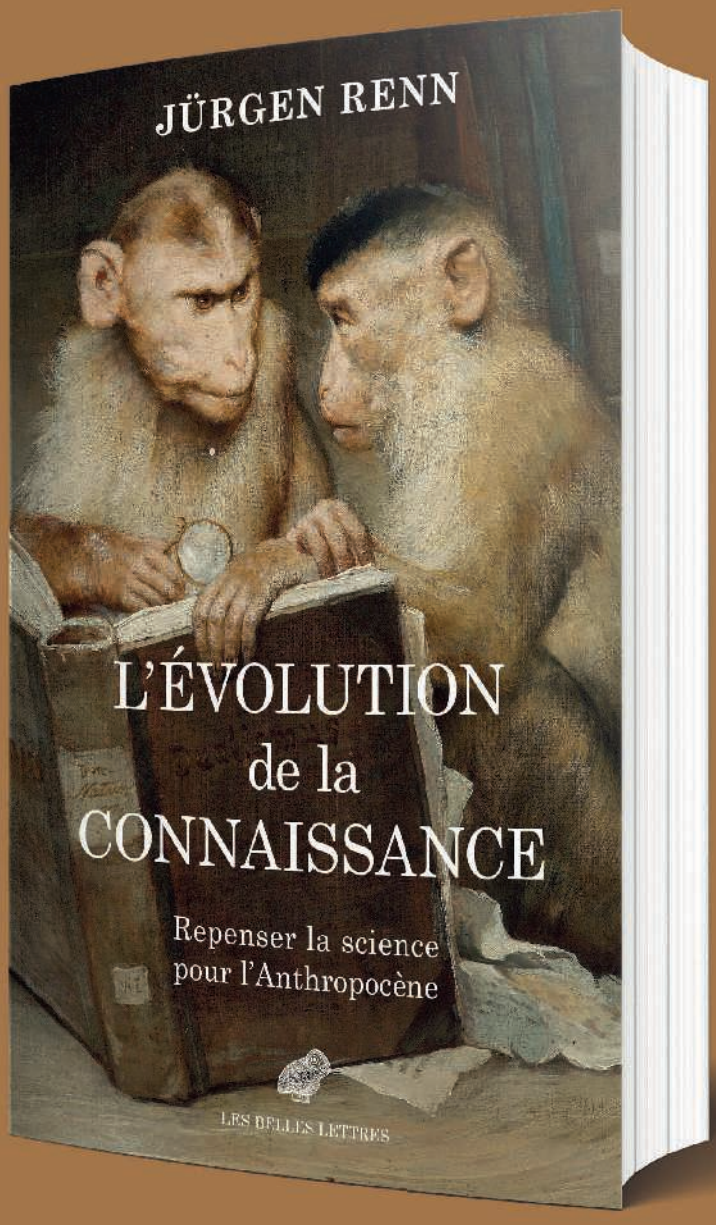
Arnaud Devillard
@A_Devila

DÉRIVES

La part sombre de la performance technique

Impossible, avec les algorithmes Midjourney ou Dall-E 2, d'obtenir une image à partir de termes à connotation sexuelle ou violente. Ils sont paramétrés pour les bloquer. Mais StableDiffusion n'a pas ces garde-fous… D'où les préoccupations de Joshua Achiam, un spécialiste de l'apprentissage par renforcement chez OpenAI. Dans des tweets postés le 10 septembre, il salue les promesses de créativité des « text-to-image », mais craint l'afflux de contenus violents, choquants, manipulateurs. Autre problème, récurrent en IA : les biais. Ces algorithmes étant entraînés sur des contenus trouvés sur Internet, ils en perpétuent les discriminations en tout genre. S'y ajoutent de possibles entorses au droit d'auteur. L'agence photo Getty Images a annoncé fin septembre refuser les images créées par IA, des œuvres protégées pouvant figurer sans autorisation dans les bases d'entraînement.

LES BELLES LETTRES



« Un livre capital qui élargit considérablement notre compréhension du rôle que joue la connaissance dans la société. »

Times Higher Education

« Un livre érudit, riche et important. »

Isis, Journal de la société d'histoire des sciences

Jürgen Renn

L'Évolution de la connaissance
Repenser la science pour l'Anthropocène

YANN CHAVANCE/GREENLANDIA

Le voilier d'expédition polaire « Kamak » devant un iceberg dans la baie de Rosenvinge, où a eu lieu la collecte d'échantillons rocheux au cours de la mission Greenlandia d'août dernier.

Groenland

Dans le sillage des expéditions de Charcot

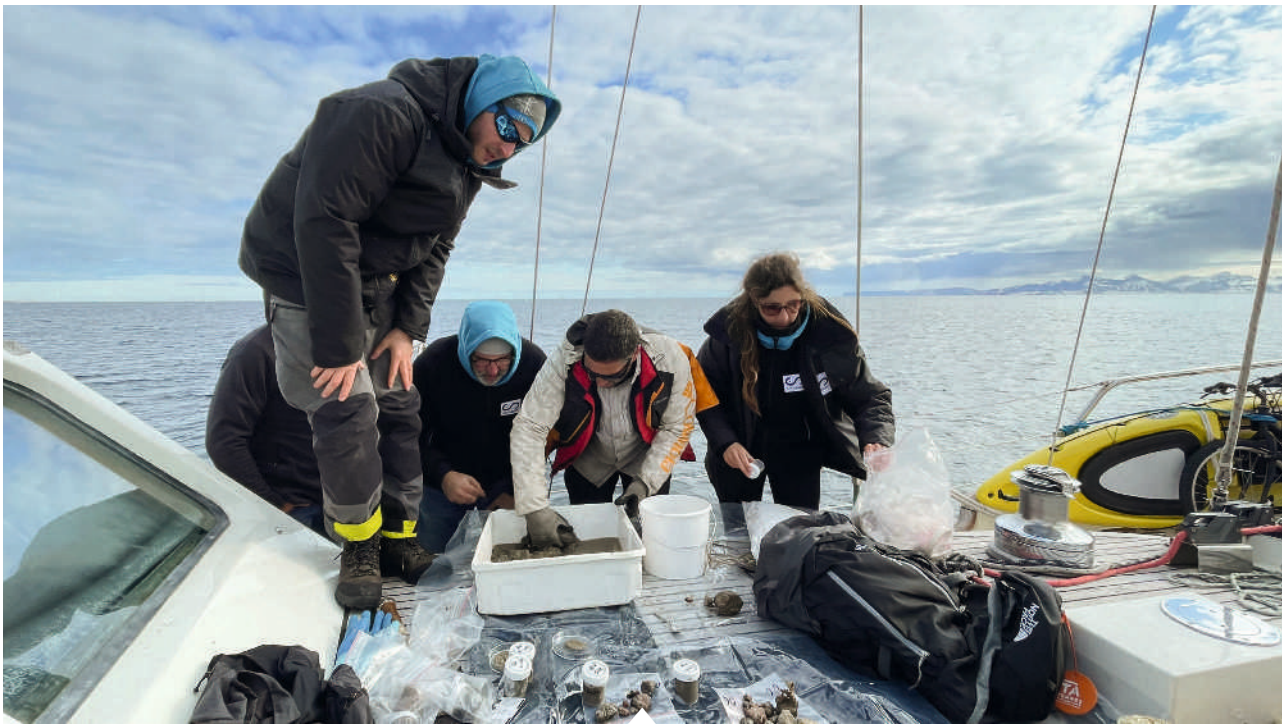
« Sciences et Avenir-La Recherche » a embarqué en août avec la mission Greenlandia en vue de revenir sur les traces du commandant Charcot au Groenland à un siècle de distance. Un des volets scientifiques de l'expédition consistait à collecter des échantillons géologiques dans les fonds marins du fjord Scoresby, le plus grand de la planète. Reportage.

Par Sylvie Rouat, envoyée spéciale @srouat1

Soixante-dix degrés nord, Groenland, août 2022. *Kamak*, le voilier de l'expédition Greenlandia, trace son sillage entre les icebergs échoués sur les fonds du fjord Scoresby, le plus grand au monde. L'horizon est barré par une chaîne de montagnes basaltiques et de larges glaciers culminant à environ 2000 mètres d'altitude. Le soleil arctique chauffe doucement les équipiers rangés en ordre de bataille sur le pont en vue de remonter à tour de rôle la benne Van Veen, une sorte de mâchoire métallique qui peut prélever mécaniquement jusqu'à 6 kg d'échantillons sur le plancher marin. Cette première plongée réalisée dans la baie de Rosenvinge a atteint 71 mètres de profondeur. Dans les roches et sédiments disposés sur le pont, Pierre Sans-Jofre, géologue au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), découvre une roche magmatique sur laquelle sont incrustés des organismes vivants et des traces calcaires. Il jubile car il vient de mettre la main sur une réplique quasi exacte de la dolérite prélevée il y a près de 100 ans à la même profondeur lors d'une des expéditions de l'explorateur polaire Jean-Baptiste Charcot menée au même endroit! Examinée au microscope dans le carré du voilier, la pierre ne déçoit pas le géologue : *« Magnifique! Il y a sur cette pierre un foisonnement de vie unicellulaire, notamment de foraminifères (*Lobatula lobatula*), identiques à*

ADOC-PHOTOS

Jean-Baptiste Charcot (1867-1936).



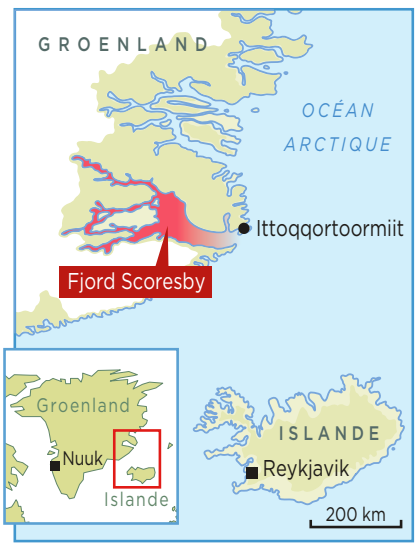
PIERRE ORTOLAN - GREENLANDIA

L'équipe de la mission Greenlandia participe au tri des échantillons de roche prélevés dans les fonds marins du fjord.

ceux que l'on a trouvés sur l'échantillon de Charcot. Idem pour les bryozoaires et les algues calcifiantes. C'est le jackpot ! Il y a là au moins trois des espèces biologiques prélevées lors de l'expédition de Charcot, ce qui va permettre des comparaisons. »

À la recherche des échantillons récoltés de 1925 à 1936

C'est un premier succès pour la mission Greenlandia, dont le projet était de revenir sur les traces du commandant Charcot dans le fjord Scoresby. Au début du siècle dernier, les scientifiques embarqués à bord de son trois-mâts *Pourquoi Pas ?* avaient en effet récolté nombre de roches, fossiles et échantillons divers lors de huit expéditions réalisées de 1925 à 1936. Mais il y a encore seulement trois ans, personne ne savait ce qu'étaient devenues les caisses confiées au MNHN. En 2019, Pierre Sans-Jofre prend la tête de la collection de géologie générale du muséum : soit 12 800 tiroirs comprenant 800 000 échantillons, auxquels s'ajoutent 12 réserves. Lorsqu'un jour il ouvre le tiroir étiqueté « Groenland », il y découvre « *un échantillon des expéditions Charcot, une dolérite prélevée en 1926 dans la baie de Rosenvinge* », se remémore le géologue ; qui s'interroge alors sur le sort des autres échantillons des missions Charcot au Groenland. Commence ainsi une enquête qui se poursuit aujourd'hui. « *En trois ans de recherches, j'ai déjà retrouvé 12 caisses de centaines d'échantillons dans les réserves du muséum,* détaille-t-il. *Dans certaines, nous avons découvert des pellicules photographiques sur lesquelles était indiqué : "À développer avant 1935"…* »



BRUNO BOURGEOIS

C'est à cette époque que le géologue croise la route de Vincent Hilaire, qui a fait ses armes polaires lors de la dérive arctique de la goélette scientifique *Tara*, en 2007. L'ancien journaliste et photographe découvre alors un environnement bouleversé par le dérèglement climatique. Une étude publiée en août par des chercheurs de l'Institut météorologique de Finlande montre en effet que l'Arctique s'est réchauffé près de quatre fois plus vite que le reste du monde durant la période 1979-2021.

IMPLANTATION

Une colonie centenaire isolée du reste du territoire

Une centaine de maisons multicolores se dressent face à l'embouchure du fjord Scoresby. Les quelque 350 habitants d'Ittoqqortoormiit se déplacent d'un flanc à l'autre du village en un ballet bruyant de quads. Des peaux d'ours et de bœufs musqués sèchent sur des étendoirs. Coincé entre mer et calotte polaire, le village d'Ittoqqortoormiit est l'un des plus isolés qui soient : Tasiilaq, la plus proche commune au sud, est distante d'environ 800 km. C'est de là pourtant que sont partis les premiers habitants de cette colonie qui a tant fasciné Jean-Baptiste Charcot. Son aventure au Groenland commence en 1925, lorsqu'il se porte au secours d'une expédition danoise. Il pénètre alors dans le fjord Scoresby, très difficile d'accès en raison de sa ceinture de glaces. Il y trouve les six survivants de la mission, dépêchés là pour recenser les ressources du fjord en vue d'y établir une colonie. Le Danemark veut ainsi asseoir son autorité sur cette côte, qui est alors revendiquée également par la Norvège.

Charcot intéressé par le devenir des villageois

Le 2 septembre 1925, 70 Inuits débarquent dans la baie de Rosenvinge. *« À cette époque, il n'y avait plus assez de phoques et d'ours à Tasiilaq,* raconte Jørgen Danielsen, ancien maire du village. *Ce sont donc 12 chasseurs et leurs familles qui sont venus s'installer ici, parce qu'on leur avait dit qu'il y avait davantage d'animaux marins à chasser.* » Intéressé par le devenir de cette colonie créée de toutes pièces, Jean-Baptiste Charcot y est revenu à sept reprises. L'explorateur, également médecin, était à chaque fois chaudement accueilli par les habitants, qui subissaient à cette époque une épidémie de tuberculose. À l'occasion de la deuxième Année polaire internationale de 1932, Jean-Baptiste Charcot a par ailleurs fait construire dans le village une station de recherche, qui sera ensuite transformée en maison de soins pour les habitants.

Il y a une dizaine d'années, l'administration du Groenland a tenté de supprimer cette communauté et a organisé le transfert géographique d'environ 150 personnes. Si la population semble désormais stabilisée, elle s'inquiète des changements climatiques en cours. *« La banquise disparaît début juillet. Cela affecte les phoques et les morses,* remarque Erling Madsen, autre ancien maire du village. *Il faut maintenant aller plus loin pour chasser.* » Et les bateaux à moteur remplacent de plus en plus souvent les traîneaux à chiens. Une situation préoccupante pour ces Inuits dont l'alimentation dépend largement de la chasse. ■

JULIETTE MAURY/GREENLANDIA

Fondé en 1925, Ittoqqortoormiit est situé à l'embouchure du fjord Scoresby, à environ 800 km de la localité la plus proche.

PORTRAIT

Charcot, la passion des Pôles

Fils du neuro-psychiatre Jean-Martin Charcot, Jean-Baptiste Charcot naît en 1867 à Neuilly-sur-Seine. Enfant, il est fasciné par les bateaux et s'initie à la voile. Mais lorsqu'il veut entrer à l'École navale, son père s'y oppose : Jean-Baptiste sera médecin. C'est ainsi qu'à 21 ans, il devient médecin auxiliaire dans les chasseurs alpins, avant de s'engager comme médecin de marine. Il a 26 ans lorsqu'à la mort de son père, il hérite d'une fortune considérable. Celle-ci va lui permettre de financer la construction de voiliers, tous baptisés *Pourquoi Pas ?*, qui vont le mener en 1901 jusqu'aux îles Féroé. Il y revient l'année suivante à la demande du ministère de la Santé pour étudier l'apparition du cancer dans ces îles. En 1903, il conduit la première expédition française en Antarctique et hiverne dans l'île Booth. Cette mission permet de cartographier 1000 km de côtes et de rapporter 75 caisses d'échantillons au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. Il divorce à son retour de Jeanne Hugo, la petite-fille de Victor Hugo, et se remarie en 1907 avec Marguerite Cléry, une artiste peintre. En 1908, l'explorateur conduit une nouvelle expédition en Antarctique et continue son travail de cartographie sur 2000 km de côtes. Durant la Première Guerre mondiale, il s'engage aux côtés des Anglais dans la lutte contre les sous-marins allemands. Le « Polar gentleman », comme le surnomment les Anglais, reprend ensuite la mer pour des missions dans l'Atlantique nord jusque dans les îles Hébrides et découvre le Groenland. Il y reviendra à sept reprises. Au retour de la mission de 1936, son bateau fait naufrage en Islande. Jean-Baptiste Charcot, 69 ans, et ses 39 équipiers y perdent la vie. Il n'y aura qu'un seul survivant.

COLLECTION ARCHIVES LAROUSSE

La dernière photographie du commandant Charcot (au centre) sur le « Pourquoi pas ? IV », avant le naufrage du navire du 16 septembre 1936, au nord de Reykjavik.

- Une augmentation moyenne de 2 °C a déjà été enregistrée entre 1960 et 2020. Soucieux du devenir des populations arctiques dans ce contexte, Vincent Hilaire décide de leur donner la parole et de documenter leur adaptation à ces changements. C'est ainsi qu'en 2015, il passe un mois et demi dans le village d'Ittoqqortoormiit, face à l'embouchure du fjord Scoresby *(lire l'encadré p. 55)*. Un village où le souvenir du commandant Charcot subsiste dans les mémoires et sous la forme d'une statue dressée face à la baie de Rosenvinge. De là est née l'idée de renouveler les expéditions scientifiques de Charcot dans le fjord Scoresby.

Les coquilles d'organismes marins, des témoins importants

La mission de 2022 a ainsi permis de ramener 21 kg de roches prélevées jusqu'à la profondeur record de 217 mètres. De retour au laboratoire, Pierre Sans-Jofre va étudier plus particulièrement les coquilles des organismes qui ont colonisé ces roches. Les coquilles des foraminifères et des bryozoaires enregistrent dans leur réseau cristallin de carbonate la composition physico-chimique de l'environnement au moment où elles se forment, notamment la concentration en dioxyde de carbone, métaux, arsenic, uranium, etc. Les foraminifères benthiques sont aussi des organismes très sensibles à la pollution, au réchauffement climatique et aux changements de salinité — or la fonte des glaces entraîne un apport important d'eaux douces dans le milieu marin… Ces échantillons pourraient ainsi être des témoignages importants des changements en cours.
L'analyse fine de la composition de ces coquilles devrait permettre d'identifier plus de 50 éléments en vue de reconstituer la composition en carbone et oxygène de l'eau dans laquelle elles ont précipité. « *La composition en oxygène est liée à la température de l'eau au moment où l'organisme précipite sa coquille calcaire,* explique Pierre Sans-Jofre. *C'est donc un indice indirect de*

YANN CHAVANCE/GREENLANDIA

Dans une ravine de la Terre Jameson, le géologue Pierre Sans-Jofre et Juliette Maury sont à la recherche de fossiles.

la température de l'océan à cet instant. Or, puisque cette mesure a été réalisée par l'équipe de Charcot, il est possible de comparer cet indice avec la température réelle, en vue d'en faire une sorte d'étalon qui nous permettrait d'étudier les climats passés de la planète. » La composition en carbone des coquilles permet quant à elle d'évaluer quelle était l'activité biologique au moment de leur formation. Les proportions d'isotopes 12 et 13 du carbone varient en effet en fonction de la consommation qui en est faite. Un bloom planctonique agit par exemple comme une pompe à carbone 12, ce qui rend l'isotope du carbone 13 plus disponible dans l'environnement. Ce dernier sera donc plus abondant dans les coquilles qui se formeront à cette période. *« Une crise d'extinction majeure se traduira* a contrario *par de grandes quantités de carbone 12 disponibles car non consommées par les organismes vivants* », précise Pierre Sans-Jofre. La comparaison des échantillons géologiques marins prélevés par la mission Greenlandia avec ceux récoltés lors des expéditions Charcot devrait ainsi nous indiquer comment les populations biologiques ont évolué dans l'environnement en un siècle.

Les échantillons des missions Charcot comprennent également des sables, qui vont être comparés avec ceux recueillis cet été. Ces derniers contiennent sans doute de plus grandes quantités et diversités de microplastiques, dont l'origine pourra vraisemblablement être déterminée. *« Les procédés de production en œuvre dans les usines de plastiques lourds implantées au Brésil ou de plastiques légers en Inde ont chacune leur signature isotopique,* explique Pierre Sans-Jofre. *Une signature que nous espérons pouvoir identifier dans les sédiments prélevés.* »

PIERRE SANS-JOFRE

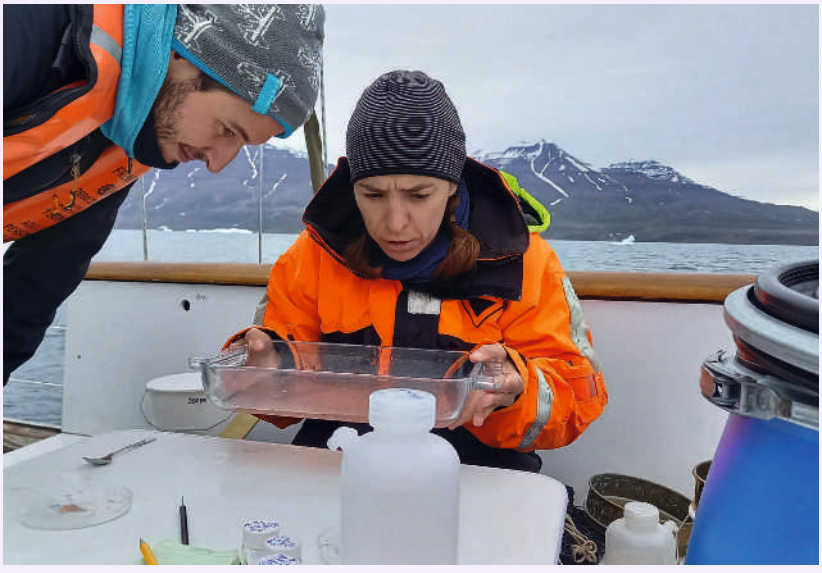
« Nous pouvons déduire la température de l'océan à l'époque de Charcot et la comparer à l'actuelle »

Pierre Sans-Jofre, géologue au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, membre de la mission Greenlandia

Quelques jours plus tard, *Kamak* navigue dans l'Hurry Inlet, l'un des bras du fjord. La mer est d'huile, un ruban de brume s'étire paresseusement au-dessus de l'eau. Le voilier jette l'ancre devant la ravine de Vardeløft, à l'est de la Terre Jameson. Peu après, l'équipe accoste sur une grève de galets parsemée de troncs flottés, arpente de lourdes plaines de tourbes marquées d'empreintes de bœufs musqués, avant de gravir les versants de la ravine. Pierre Sans-Jofre et Juliette Maury, coordinatrice logistique de Greenlandia, se lancent dans une pénible ascension, à la recherche de fossiles. Car cette Terre Jameson constitue un véritable livre d'histoire naturelle : chaque strate rocheuse est une page qui permet de remonter à l'ère des dinosaures — le jurassique — et au trias, l'ère qui l'a précédée. Ce conservatoire géologique unique a été découvert par des scientifiques danois, notamment par le géologue Lauge Koch, qui a consacré une partie de sa vie à l'exploration du Groenland. Des géologues français embarqués à bord du *Pourquoi Pas ?* vont lui succéder en 1925 et 1926, récoltant nombre de fossiles, parfois endémiques, conservés dans les schistes et les grès de ce *« paradis des géologues »*, selon les mots de Jean-Baptiste Charcot (*Dans la mer du Groenland*, 1928). La Terre Jameson permet ainsi d'étudier la transition entre le trias et le juras-

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Quand les morues arctiques sonnent l'alarme



JULIETTE MAURY/GREENLANDIA

JULIETTE MAURY/GREENLANDIA

L'océanographe canadienne Caroline Bouchard mesure les juvéniles de poissons piégés grâce à un filet à plancton (à gauche). Ci-dessus, un échantillon de zooplancton.

Lors de l'Année polaire internationale de 1932, des scientifiques embarqués à bord du *Pourquoi Pas ?* avaient effectué des dragages dans le fjord Scoresby et avaient à cette occasion découvert trois nouvelles espèces de crustacés. En août 2022, le volet marin de l'expédition Greenlandia a effectué des prélèvements de larves et de jeunes poissons jusqu'à 60 mètres de profondeur. Caroline Bouchard, océanographe au centre de recherche climatique du Groenland, s'intéressait plus particulièrement aux juvéniles de morues arctiques *(Boreogadus saida)*, très sensibles au réchauffement climatique actuel. *« Les œufs de morues arctiques supportent un maximum de 3 °C, les larves 5 °C et les adultes 10 °C. Si les eaux se réchauffent trop, les larves vont mourir en grandes proportions »*, souligne Caroline Bouchard. De même, l'apport d'eaux douces par la fonte des glaciers est néfaste pour ces organismes. C'est d'autant plus inquiétant que la morue arctique est une proie essentielle pour les orques, phoques, narvals, baleines, oiseaux de mer, etc. *« Le bas Arctique est déjà en train de changer : des espèces concurrentes et des prédateurs comme la morue atlantique remontent,* remarque Caroline Bouchard. *Il est probable qu'à terme, la morue arctique migre à son tour. »*

sique, qui a connu une extinction de masse il y a environ 200 millions d'années. Sur Terre, 80 à 90 % des plantes ont disparu, ainsi que de nombreux groupes de reptiles, tandis que les mers voyaient de nombreuses espèces d'ammonites s'éteindre. *« Cette transition trias-jurassique, qui a duré quelques dizaines de milliers d'années, est visible ici à 300 mètres de hauteur et correspond à une couche de 30 mètres d'épaisseur,* explique Pierre Sans-Jofre sur le terrain. *L'échantillonnage se fait couche par couche, en vue de trouver celles qui correspondent à la période précise de -198 à -203 millions d'années.* »
À cette époque, les terres du Groenland se trouvaient à la latitude actuelle de la France et affichaient des températures moyennes de 15 à 20 °C, avec un climat relativement sec et aride… *« Dans le fjord Scoresby, le taux de sédimentation était alors rapide, ce qui permet une haute résolution temporelle, quasiment mois par mois,* souligne le chercheur. *Il est ainsi possible de mesurer l'impact des perturbations climatiques extrêmes sur les communautés biologiques. Il y a 200 millions d'années, les plantes à grandes feuilles régnaient. Puis, à mesure que la température a augmenté, il semble qu'elles ont été supplantées par des plantes à petites feuilles.* »
Au cours de cette grande crise biologique, la Terre a subi un réchauffement climatique corrélé à une forte augmentation de la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Un scénario similaire à ce que nous vivons aujourd'hui, mais avec des causes évidemment différentes. *« L'une des hypothèses avancées, étayée par la présence de grandes quantités de basaltes, est celle d'un important épisode volcanique au pôle Sud, qui aurait injecté de grandes quantités de CO_2 dans l'atmosphère* », explique Pierre Sans-Jofre. Sur le pont du *Kamak* caressé par la lumière du soir, le géologue prépare ses échantillons en vue de leur retour vers le muséum. Leur analyse chimique permettra au cours des prochains mois de les dater et de retracer leur histoire, celle de l'une des cinq extinctions majeures que la Terre a déjà connues. La sixième est en cours. *« Chaque phénomène climatique extrême rebat les cartes de la vie,* remarque Pierre Sans-Jofre. *Il y a 635 millions d'années, nous sommes passés d'un monde microscopique à un monde macroscopique. Et il y a 65 millions d'années, la disparition des dinosaures a laissé la place aux primates, et donc à l'humain.* » Au-delà de la sixième extinction, susceptible de signer la fin de l'humanité, la vie pourrait ainsi connaître de nouvelles voies d'évolution, peut-être plus complexes… ■

PIERRE VERNAY / BIOSPHOTO

COHABITATION

La fonte des glaces pousse les ours vers les villages

« Avec le changement climatique, nous commençons à être envahis par les ours, remarque Erling Madsen, ancien maire d'Ittoqqortoormiit, situé à l'embouchure du fjord Scoresby. ***Nous disposons d'un quota de chasse de 35 ours polaires par an. Cette année, nous avons atteint ce quota en sept semaines seulement. Mais les ours affamés sont attirés par la nourriture distribuée aux chiens de traîneau et s'aventurent de plus en plus souvent dans le village. »*** Ce qui entraîne toujours plus de tirs de défense. La fonte précoce de la banquise — sur laquelle *Ursus maritimus* chasse les phoques — pousse ces prédateurs vers la terre ferme et ses communautés humaines. Les habitants du village ont ainsi l'impression que les populations d'ours augmentent et que les quotas instaurés en 2007 ne sont plus adaptés. En réalité, il n'existe aucun recensement précis de ces populations dans le nord-est du Groenland.

La Terre Jameson permet d'étudier la transition entre le trias et le jurassique qui a connu une extinction de masse, il y a 200 millions d'années

La France se prépare à un tsunami en Méditerranée

Après les tsunamis dévastateurs de 2004 et 2011 en Asie, la mer Méditerranée, avec sa forte activité sismique, sera-t-elle le théâtre de la prochaine catastrophe submersive ? Une journée mondiale de sensibilisation est prévue le 5 novembre.

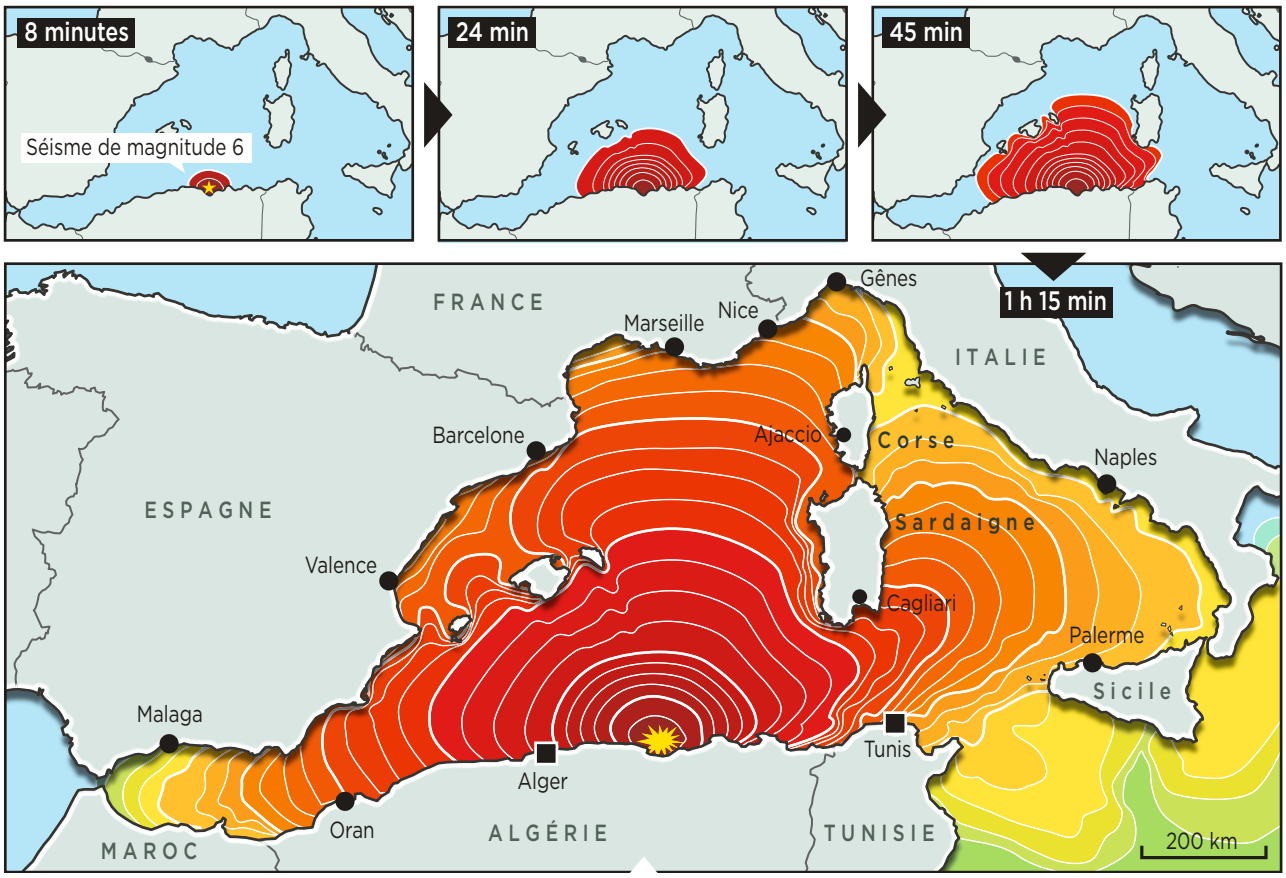
Le 18 mars 2021, à 6 h 04 min du matin, un séisme de magnitude 6 secoue la baie de Bejaia, au nord-est de l'Algérie. L'épicentre se situe à 20 kilomètres en mer. Malgré l'intensité moyenne de ce tremblement de terre, classé 6 sur l'échelle de Richter, l'alerte résonne de l'autre côté de la Méditerranée, sur les ordinateurs du Centre national d'alerte aux tsunamis (Cenalt) installé à Orsay (Essonne). L'ingénieur de garde prévient le Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises (Cogic) au ministère de l'Intérieur. Qui répercute l'information aux préfectures et aux villes d'Occitanie et de Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Un tsunami arrive. Il est au final fort heureusement affaibli. Situés à 700 kilomètres de l'épicentre, les marégraphes des ports de Nice, Monaco et Toulon ont enregistré quelques vaguelettes de 4 centimètres de hauteur. Résidus d'une onde qui a mis une heure et quart pour traverser la Méditerranée.

Quatre centimètres ! Comment faire croire que les rivages de la Méditerranée sont à risque avec une telle alerte ? Personne n'a oublié le séisme du 26 décembre 2004 au large de l'île de Sumatra, en Indonésie, provoquant un énorme tsunami frappant l'ensemble de l'océan Indien. 250 000 personnes en sont mortes. Mais, localement, les vagues atteignirent alors une hauteur de 35 mètres. Peu ou prou la hauteur de celles qui frappèrent le Japon le 11 mars 2011, faisant plus de 18 000 victimes et provoquant la catastrophe nucléaire de Fukushima. *« Au-delà de ces grands événements, les tsunamis sont bien plus nombreux qu'on ne pense,* soutient Vladimir Ryabinin, secrétaire exécutif de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) de l'Unesco. *Notre système d'alerte créé après le tsunami de 2004 a répertorié 125 phénomènes, soit une moyenne de sept par an, dont les dégâts n'ont pas eu de retentissement international.* » Et certains d'entre eux nous concernent directement, en Méditerranée. Aussi, l'événement de 2021 vaut pour rappel et pour exercice d'alerte. C'est que, peu le savent, la Méditerranée est l'une des zones au monde où l'activité sismique pourrait provoquer des dommages majeurs. Sans l'anticiper, les territoires qui la bordent pourraient, eux aussi, déplorer de nombreuses victimes. C'est pourquoi, le 5 novembre, Journée mondiale de sensibilisation aux tsunamis, des exercices d'alerte et des campagnes de sensibilisation vont avoir lieu dans les principales villes riveraines de la Méditerranée et dans les Caraïbes. L'affaire est sérieuse. Les sismologues préviennent qu'un événement majeur arrivera tôt au tard. Pour le bassin méditerranéen aux rivages majoritairement surpeuplés, c'est une certitude qu'une

HÉLÈNE HÉBERT

« C'est en butant sur la remontée du sol vers le rivage que l'onde se raccourcit et se transforme en hautes vagues »

Hélène Hébert, coordinatrice du Centre national d'alerte aux tsunamis, à Orsay (Essonne)



L'onde provoquée par le séisme de 2021 au large de Bejaia (Algérie) a mis 1 h 15 min pour traverser la Méditerranée du sud vers le nord.

vague d'au moins un mètre interviendra d'ici au milieu de ce siècle. Elle sera issue soit d'un tremblement de terre pour 78 % des cas, soit d'un volcan sous-marin provoquant des glissements de terrain pour les 22 % restants.

Des failles actives près de Nice et de la Côte d'Azur

Pour retrouver la trace d'événements anciens et faire des calculs de probabilité d'une récidive, les chercheurs se basent sur les archives des collectivités et les traces géologiques laissées sur les littoraux affectés. *« Car là où il y a eu un tsunami, il en arrivera un autre »*, statue Vladimir Ryabinin. Les experts du COI ont délimité les zones à risques. La mer Égée et son chapelet d'îles grecques et les rivages turcs, la région du détroit de Messine, entre la péninsule italienne et la Sicile avec la présence d'activité volcanique proche du Stromboli, et la Méditerranée occidentale avec une faille active en Algérie et au large de ses côtes du fait de la rencontre des plaques tectoniques africaine et eurasienne. Nice et la Côte d'Azur voisinent aussi avec les failles plus petites du système ligure. Elles ont provoqué un tsunami d'un mètre en 1887.

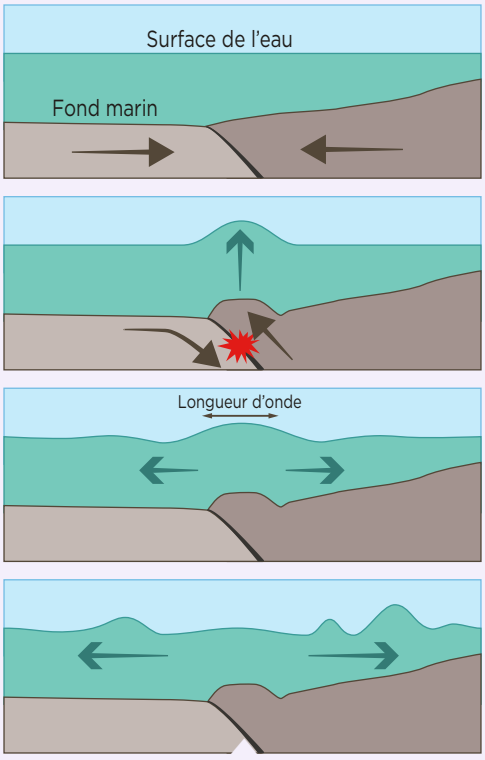
Il faut donc rester l'arme au pied. *« Le Cenalt gère 280 sismographes dont 200 sur le territoire national ; il est en contact permanent avec ses homologues dans le monde entier grâce à des accords bilatéraux »*, explique son directeur Pascal Roudil. Si le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) pilote le centre, c'est parce que l'organisme est capable de fournir les capacités de calcul nécessaires pour modéliser la propagation d'une onde à travers l'océan et son impact sur les structures à terre. *« L'élément essentiel à prendre en compte est la bathymétrie,* expose Hélène Hébert, coordinatrice du Cenalt. *Nous devons connaître précisément la configuration des fonds marins car c'est en butant sur la remontée du sol vers le rivage que l'onde se raccourcit et se transforme en hautes vagues »* *(lire l'encadré p. 62)*. C'est toute la difficulté de l'évaluation de l'impact. Des configurations très locales font qu'un petit tsunami sur une plage peut produire une vague gigantesque quelques kilomètres plus loin.

Le Cenalt utilise donc la cartographie des fonds marins près des rivages méditerra-

GÉOPHYSIQUE

Comment se forme un tsunami

Un tsunami est provoqué par une rupture brusque d'une faille sous-marine entre deux plaques de l'écorce terrestre. Les phénomènes les plus violents proviennent de séismes dont l'épicentre se situe sous une profondeur de moins de 5000 mètres avec une magnitude d'au moins 6,5. Le mouvement crée une onde d'eau de plusieurs dizaines de kilomètres de longueur pouvant atteindre les 800 km/h en plein océan. Lorsque la profondeur décroît à l'approche du littoral, la longueur d'onde ralentit tandis que sa hauteur augmente. Cette longueur d'onde reste malgré tout importante, si bien que les volumes d'eau inondant le littoral sont massifs, même si la vague n'est que de quelques centimètres. Ainsi, pour un séisme majeur, à 4000 mètres de profondeur, un tsunami va à la vitesse de 713 km/h avec une longueur d'onde de 282 kilomètres. À 50 mètres de profondeur, la vitesse est de 79 km/h pour une longueur d'onde de 23 kilomètres.



La rupture d'une faille sous-marine (en rouge) entre deux plaques terrestres crée une onde d'eau qui se transforme en vague géante allant heurter le littoral.

néens, mais doit aussi intégrer toutes les informations sur la configuration de la côte, son occupation (ports, villes, industries) et son relief. « *Cela suppose d'avoir une cartographie fine, à l'échelle de carrés de dix mètres de côté, des maisons, usines, rues, plages, falaises et espaces verts qui occupent le littoral, ce qui implique des modèles avec des équations extrêmement complexes* », détaille Matthieu Péroche, maître de conférences en géographie à l'université Paul-Valéry-Montpellier 3. Les modèles sont nourris par les plans d'occupation des sols, les cadastres, les plans de prévention des risques industriels (PPRI), les programmes d'action du risque inondation (Papi), etc. Les visites de terrain sont également nécessaires. Un travail fin d'enquête dont l'unité de recherche que dirige Matthieu Péroche s'est fait une spécialité.

Cette cartographie des impacts d'une série de vagues violentes, à pleine vitesse, ne ressemble en rien à celles qui sont élaborées pour des submersions marines provoquées par des tempêtes. Les sismologues n'imaginent pas sur le littoral méditerranéen un tsunami supérieur à un mètre. Mais cette hauteur qui peut paraître anodine n'a rien à voir avec la vague sur laquelle s'ébat le surfeur. « *C'est bien plus violent et rapide, et il faut imaginer que les flots vont entrer profondément dans les terres et emporter voitures et camions sur de grandes distances* », décrit Hélène Hébert. La conscience d'un tel effet dévastateur commence à cheminer chez les élus concernés. En France, Matthieu Péroche travaille depuis quelques années avec deux communes, Deshaies en Guadeloupe et Cannes dans les Alpes-Maritimes. « *C'est une volonté politique des maires que d'instaurer des plans de prévention du risque tsunami* », avoue Matthieu Péroche. À Cannes, les inondations catastrophiques provoquées par des orages violents en octobre 2015 — qui ont causé 20 morts — ont incité la mairie à se préparer à tous les aléas météorologiques et sismiques.

Définir les zones à risque et les itinéraires d'évacuation

Ainsi, en juin, les employés de Cannes ont vissé sur les trottoirs des plaques circulaires en lave émaillée figurant un personnage fuyant devant une vague, avec la mention « évacuation tsunami » et une flèche indiquant un lieu emblématique de la ville. « *Il y en aura 200 environ posées sur l'ensemble du littoral de la commune, indiquant la distance à parcourir pour atteindre un lieu refuge situé à au moins 200 mètres du rivage et à une hauteur de cinq mètres au-dessus du niveau de la mer consi-*

dérée comme sûre en cas de tsunami », détaille Yannick Ferrand, directeur des risques majeurs à la mairie de Cannes. C'est le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) qui a élaboré les plans. *« 1500 bâtiments sont considérés comme à risque, ce qui représente 17 000 Cannois. Mais trois fois plus de personnes si le séisme intervient en saison touristique* », ajoute Yannick Ferrand. Les exercices d'alerte, eux, ont lieu à intervalles réguliers. Il s'agit de vérifier que les canaux d'information entre le Cenalt, le ministère de l'Intérieur, les préfectures et les mairies concernées fonctionnent bien et rapidement. Un tremblement de terre sur les failles ligures ne laisserait qu'un quart d'heure environ pour évacuer les personnes fréquentant le littoral des Alpes-Maritimes.

MAIRIE DE CANNES

À Cannes (Alpes-Maritimes), la mairie sensibilise les habitants aux risques de tsunami (ci-dessus) et a mis en place une signalétique d'évacuation qui permet d'indiquer la direction d'un lieu protégé et la distance à parcourir pour l'atteindre (ci-contre).

Un label « Tsunami ready » lancé par l'Unesco

La création des trajets permettant aux personnes de parcourir les 200 mètres d'éloignement de la mer et de monter de cinq mètres en hauteur a été confiée à l'équipe de Matthieu Péroche qui a développé un programme de modélisation idoine. *« Une fois les zones à risques délimitées, il faut définir les itinéraires d'évacuation les plus rapides et les plus faciles d'accès, y compris pour les personnes à mobilité réduite, afin de mettre en place une signalisation guidant les personnes* », explique-t-il. C'est un travail de terrain. Les étudiants géographes ont arpenté le bitume cannois pour déterminer les chemins les plus sûrs. *« La ligne droite n'est pas toujours la bonne si, par exemple, elle fait passer par une ruelle étroite alors qu'on doit imaginer beaucoup de personnes en train de courir en même temps* », note Matthieu Péroche.

La dernière étape est la plus sensible : comment informer concrètement du risque sans effrayer ? *« La première réflexion des habitants est que ce plan va faire fuir les touristes,* regrette Matthieu Péroche. *Mais très vite, quand le risque tsunami est expliqué, les gens sont rassurés qu'on prenne des mesures préventives.* » Et ce travail d'explication est à mener. Sur les 700 entretiens effectués auprès des Cannois par les étudiants géographes de Montpellier, 36 seulement ont fait apparaître une connaissance du risque tsunami.

Pour la ville, c'est la dernière étape permettant d'atteindre le label « Tsunami ready » (« prêt pour un tsunami ») qu'a lancé l'Unesco lors de la Conférence sur les océans organisée par l'ONU à Lisbonne en juin. L'objectif ? Que l'ensemble des communautés vivant sur les littoraux dans le monde entier soient préparées à l'arrivée d'un tsunami d'ici à 2030. *« Nous avons pour cela créé un programme qui définit 12 indicateurs permettant de savoir où en sont les collectivités, les populations, les États dans la préparation au risque* », détaille Bernardo Aliaga, spécialiste des tsunamis au sein de la COI. Évaluation et cartographie du risque, organisation des plans d'évacuation d'urgence, exercices d'alerte : toutes ces étapes ont été réalisées par Deshaies et Cannes, et les deux villes vont être labellisées début 2023, rejoignant ainsi une quarantaine de localités partout dans le monde prêtes à affronter des flots catastrophiques. Une avant-garde, espère l'Unesco. ■

Loïc Chauveau
@Loic_Chauveau

MATTHIEU PÉROCHE

« Avoir une cartographie fine des maisons, usines, rues, plages, espaces verts implique des modèles avec des équations très complexes »

Matthieu Péroche, maître de conférences en géographie à l'université Paul-Valéry-Montpellier 3

L'origine de la toxicité des champignons a été identifiée

Comment expliquer que la même toxine mortelle soit présente dans des champignons aux profils génétiques très différents ? Des chercheurs révèlent l'existence d'un transfert de gènes entre espèces partageant le même sol.

Voilà le retour de la chasse aux champignons. Les orages qui ont suivi une longue sécheresse estivale ont déjà fait des heureux en facilitant la pousse des cèpes de Bordeaux dès septembre. Mais attention ! L'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) a coutume en cette saison de refroidir les ardeurs. Tous les ans, un millier de personnes en France sont victimes d'intoxications liées à la consommation de champignons : en moyenne, trente le sont gravement et trois en meurent. C'est pourquoi comprendre d'où proviennent ces toxines est un enjeu de santé publique. Un pan de voile vient justement d'être levé par une équipe franco-chinoise sur l'origine de l'amanitine, la substance qui s'attaque chez l'humain au fonctionnement des reins et du foie.

L'amanitine est reconnue depuis longtemps comme une toxine mortelle. « *Mais ce qui est surprenant, c'est qu'elle est présente aussi bien chez l'amanite phalloïde que chez la galère marginée et la lépiote crêtée, trois champignons forestiers communs dans nos bois, qui sont génétiquement très différents* », expose Francis Martin, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inrae) de Nancy et coauteur de l'étude. Les auteurs de l'article, paru cette année dans la revue *PNAS*, ont comparé le génome de 15 champignons toxiques pour identifier les gènes responsables de la fabrication des différentes formes d'amanitine et caractériser l'activité enzymatique pilotée par ces gènes. Un travail fastidieux qui a duré près d'une décennie, mais qui a livré des résultats prometteurs : quatre gènes ont pu être identifiés et ils sont identiques chez toutes les espèces mortelles. Le degré de toxicité, qui explique par exemple que l'amanite phalloïde soit bien plus dangereuse que les autres membres de son genre, est lié au nombre de copies de ces gènes. « *Ils sont présents en dizaines d'exemplaires chez ce champignon. Or, plus il y a de copies, plus la toxine produite est abondante et dangereuse, selon le principe que c'est la dose qui fait le poison* », poursuit Francis Martin.

643
champignons toxiques
répertoriés dans le monde parmi les 100 000 espèces décrites en 2022.

Comment se fait-il que des espèces fongiques aussi différentes soient porteuses de l'ensemble des gènes codant la voie de biosynthèse des amanitines ? Le scénario évolutif habituel voudrait que toutes descendent d'un ancêtre commun. Impossible ici, car les divergences dans l'histoire évolutive de ces espèces sont trop importantes. Les auteurs émettent donc une autre hypothèse : un transfert horizontal de l'en-

JEAN-CHRISTOPHE VERHAEGEN / AFP

« Il y a 40 millions d'années, un champignon aurait transmis ses gènes par le biais de virus, de transposons ou de bactéries »

Francis Martin, chercheur à l'Institut national de la recherche agronomique (Inrae) de Nancy

YVES LANCEAU / BIOSPHOTO

SAMUEL DHIER / NATURAGENCY

SYLVAIN CORDIER / BIOSPHOTO

Bien qu'étant des espèces fongiques très différentes, la galère marginée (en haut), la lépiote crêtée (à gauche) et l'amanite phalloïde (à droite) fabriquent toutes la même toxine, l'amanitine, grâce à quatre gènes communs.

semble de ces gènes entre champignons partageant le sol forestier. En d'autres termes, alors qu'elles poussaient les unes près des autres, des espèces se sont échangé des gènes et les ont transmis à leur descendance.

Les chercheurs découvrent en effet dans la nature de plus en plus de cas où des gènes voyagent entre des occupants parfois très différents de la même niche écologique. Récemment, des scientifiques ont même décrit des échanges génétiques entre des serpents et des grenouilles d'un habitat forestier, ou entre des mollusques marins et les algues dont ils se nourrissent ; des transferts ont aussi été constatés sur des plantes à fleurs, notamment par greffage.

« On sait que ces échanges entre espèces différentes existent, mais les mécanismes génétiques en jeu sont inconnus. L'hypothèse, c'est qu'il y a 40 millions d'années, un champignon aujourd'hui disparu a transmis ces gènes à ses voisins par le biais de virus, de transposons ou de bactéries », explique Francis Martin. Les champignons les ont adoptés et transmis au fil des générations jusqu'à nos jours, ce qui indique qu'ils leur donnaient un avantage évolutif. Lequel ? En toute logique, celui de décourager ceux qui voudraient s'en nourrir.

3 à 5 millions d'espèces sont encore inconnues

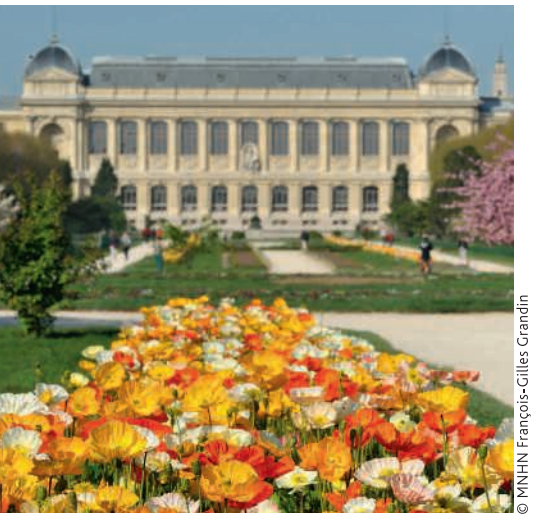
Le champignon visible n'est que le fruit d'un organisme souterrain constitué de filaments, le mycélium. Cette excroissance sert à diffuser les spores qui vont permettre à l'espèce de conquérir de nouveaux espaces. Mais ces spores doivent atteindre une certaine maturité avant d'être disséminées et de se féconder. La toxine pourrait ainsi décourager les prédateurs les plus pressés. Ce n'est qu'une hypothèse. En 2022, une équipe chinoise a répertorié dans le monde 643 espèces toxiques appartenant à 51 familles et 148 genres, ce qui démontre une large diffusion de ces toxines. *« On estime à 300 le nombre des espèces comestibles ; donc les champignons toxiques et mangeables sont très minoritaires par rapport aux 100 000 espèces décrites par la science qui ne sont ni bonnes ni dangereuses, sans parler des 3 à 5 millions qui nous sont encore inconnues »*, s'amuse Francis Martin. À l'inverse des champignons toxiques, la truffe émet des odeurs qui attirent les animaux afin qu'elle soit déterrée, favorisant ainsi la dispersion de ses spores. Ces stratégies différentes mêlant odeurs, toxines, couleurs, formes nous sont encore largement inconnues et peu compréhensibles tant il est difficile d'observer dans son milieu naturel des organismes constitués de fins filaments de plusieurs dizaines de mètres permettant leur symbiose avec les arbres. Le cueilleur de champignons fréquente décidément un endroit plein de mystères. ■ **Loïc Chauveau** @Loïc_Chauveau

© MNHN François-Gilles Grandin

« Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme » : un palmarès de chercheuses

Le 7 octobre dernier, à l'occasion de la Fête de la science, s'est tenue la cérémonie de remise du « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme » dans l'amphithéâtre de la Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée du Jardin des Plantes. Un prix qui a mis à l'honneur trois projets menés par des chercheuses du Muséum national d'Histoire naturelle, autour du thème « Sociétés et environnement ».

Depuis près de 20 ans, la Fondation ENGIE chemine aux côtés du Muséum national d'Histoire naturelle, pour le soutenir dans ses chantiers comme dans ses missions de recherche. En 2015, elle s'est associée à la réouverture du Musée de l'Homme. Une manière pour la Fondation de réaffirmer, dans le contexte de la COP 21, sa responsabilité sociétale. Trois ans plus tard, en 2018, en tant que mécène fondateur de ce musée, elle a créé avec lui le « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme ».


© MNHN François-Gilles Grandin

« Sociétés et environnement »

Chaque année, une bourse est attribuée à un-e ou plusieurs chercheurs/chercheuses dont les sujets de recherche sont en lien avec les thématiques du Musée de l'Homme. Un prix décerné par un jury composé de scientifiques du Muséum, de représentants de la Fondation ENGIE et de personnalités extérieures, qui récompense des projets interdisciplinaires innovants visant à mieux comprendre les liens qu'entretiennent les sociétés passées et présentes avec leur environnement, l'adaptation au changement climatique et la biodiversité : *« Les chercheurs et les chercheuses qui travaillent en lien avec le Musée de l'Homme disposent d'un creuset qui permet de faire dialoguer entre elles les disciplines,* précise Bruno David, président du Muséum et président du jury. *Ce que nous recherchons, avec la Fondation ENGIE, ce sont des projets originaux qui montrent comment les fonctionnements sociaux, quelles que soient les sociétés, sont liés à leur environnement. »*

Une collaboration féconde

Après le succès des trois premières éditions, la Fondation ENGIE a reconduit, en 2021, son soutien pour trois années supplémentaires. L'objectif ? Inspirer une dynamique collaborative de recherche autour de la thématique suivante : Sociétés et environnement. Pour Bruno David, *« l'intérêt porté par la Fondation ENGIE au monde de la recherche est un stimulus et une dynamique entraînante pour des équipes de recherche. Une fondation d'entreprise qui s'intéresse à la recherche fondamentale et à la construction de connaissances dans le temps avec autant de constance, c'est un compagnonnage précieux. »*

UN VOLET GRAND PUBLIC

En 5 ans, ce sont 12 projets qui ont été récompensés, menés par 19 chercheurs. Pour sa 5e édition, 17 équipes se sont portées candidates. Au terme des délibérations, en juin 2022, trois projets ont été désignés lauréats Des projets portés par des chercheuses : *« Il n'est pas toujours facile de départager les projets qui nous sont soumis,* rappelle Bruno David. *C'est Philippe Peyrat, le délégué général de la Fondation ENGIE et le directeur des partenariats, qui a convaincu la Fondation d'accorder jusqu'à trois prix par an. Un « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme » qui, en récompensant des chercheurs et des chercheuses, nous offre aussi l'opportunité de communiquer les résultats de la science dans les lieux où se font les recherches et de les diffuser auprès des populations locales. »*

ROADIE-BABS : des babouins et des humains

Sur la route qui traverse le Parc national de Kibale, en Ouganda, on peut assister à un drôle de spectacle : des babouins olive arrêtent les véhicules pour obtenir de la nourriture. Sabrina Krief, éco-éthologue et Professeure au Muséum, et Audrey Maille, éthologue et maîtresse de conférences au Muséum, lauréates de la cinquième édition du « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme », nous présentent le projet ROADIE-BABS, un projet de recherche collaboratif mené par un consortium franco-ougandais.

© Jean-Michel Krief

Sabrina Krief - Vétérinaire, éco-éthologue et professeure au Muséum national d'Histoire naturelle

Quelle est la genèse de votre projet de recherche ?

S.K. : Je travaille depuis 24 ans en Ouganda. J'étudie les chimpanzés et notamment les conséquences des activités humaines sur leur comportement et leur santé. Nous avons installé notre station de recherche au Nord du parc national de Kibale, non loin d'une route qui traverse le territoire des chimpanzés. La forêt de Kibale est l'une des zones les plus riches en biodiversité mais entourée de zones agricoles et d'une forte densité de population humaine. C'est aussi une zone laboratoire à ciel ouvert en ce qui concerne les interactions de la faune sauvage avec les humains. En 2016, Audrey a rejoint notre équipe pour une étude pilote sur les babouins : Alors que dans les forêts, ils fuient les humains, au bord des routes, ils quémandent de la nourriture, qu'ils obtiennent. Un phénomène en lien avec mes sujets d'étude, à savoir la transmission des maladies entre l´humain et les primates, qui peut être médiée par des aliments échangés.

A.M. : Ces interactions sont étonnantes, aussi bien du côté des primates que de celui des humains. En Ouganda, les babouins sont un peu l'équivalent de nos corneilles : ils pillent les champs, les décharges et les habitations, parfois en bandes de 40 ou 50 individus. Comment ces primates, redoutés la plupart du temps, parviennent-ils à obtenir de la nourriture ? Quelles sont les motivations de leurs donateurs ? Cette route, qui relie la République démocratique du Congo et Kampala, la capitale de l'Ouganda, est un axe très fréquenté par des touristes comme par des locaux. En majorité, ce sont les locaux qui donnent de la nourriture aux babouins alors que, bien souvent, ils nourrissent à peine leurs chiens.

Quel est l'objectif de votre projet ?

A.M. : L'objectif de ce projet de recherche est double : mieux comprendre les interactions entre humains et babouins sur cette route, mais aussi prévenir les risques sanitaires liés aux collisions et aux zoonoses. En nous intéressant aux interactions rapprochées entre primates non humains et humains, nous espérons apporter un regard neuf sur un sujet peu étudié, et quand il l'est, abordé plutôt sous un angle conflictuel.

S.K. : La nourriture qui leur est donnée, les déchets laissés sur la route ont des impacts au niveau physiologique et sanitaire. Certains sont atteints de malformations faciales congénitales qui peuvent être dues à l'anthropisation de leur habitat et à la pollution environnementale. Une étude a mis en évidence la présence de 60 polluants dans les poils des chimpanzés alors qu'ils passent beaucoup moins de temps sur les bords de la route ! Que donnerait cette étude si on la menait sur les babouins ? D'autre part, quand la route a été rénovée et élargie, entre 2017 et 2019, nous avons travaillé avec les pouvoirs publics pour installer des ralentisseurs et sensibiliser les véhicules, via une signalétique routière, aux risques de collision, de pollution et de maladies. Des dispositifs aux effets qui semblent, en certains aspects, contre-productifs : à présent, les babouins stationnent à la hauteur des ralentisseurs. Ils vont de moins en moins dans la forêt pour trouver leur nourriture, une désaffection qui menace l'équilibre des écosystèmes ; les primates sont les jardiniers de la forêt. Si ces frugivores passent leur vie sur la route, les graines des fruits qu'ils disséminent via leurs crottes manquent aux écosystèmes forestiers. Les données que nous souhaitons recueillir devraient nous aider à évaluer le risque de transmission de pathogènes entre les babouins et les humains et vice-versa mais aider aussi nos collaborateurs ougandais à développer des programmes et des recommandations pour une meilleure sensibilisation des automobilistes aux problématiques sanitaires et de conservation de la biodiversité, et pour une gestion optimisée des axes routiers.

© Audrey Maille

Audrey Maille - Ethologue et maîtresse de conférences en biologie du comportement des primates au Muséum national d'Histoire naturelle

Que vous apporte le « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme » ?

S.K et A.M : Être lauréates de ce prix nous permet de donner une visibilité à notre projet, à l'interface de l'ethnologie et de l'éco-éthologie. Grâce à cette bourse, nous allons pouvoir recruter un étudiant français et un étudiant ougandais qui travailleront ensemble sur le terrain, pour disposer de regards croisés sur cette thématique.

SOICO : des coquillages et des femmes

Depuis la préhistoire, les coquillages occupent une importance considérable dans la nutrition des sociétés littorales traditionnelles. Une pêche toutefois sous-estimée parce qu'elle est le fait des femmes. Ariadna Burgos, et ethnoécologue, lauréate de la cinquième édition du « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme », nous présente le projet SOICO (« SOciétés Insulaires et COquillages : pêche, gestion et durabilité »), qui étudie, à travers deux terrains insulaires — au Timor oriental et en Papouasie-Nouvelle-Guinée — les dynamiques sociales et écologiques de la pêche d'invertébrés.

Quelle est la genèse de votre projet de recherche ?

Pour réaliser ma thèse de doctorat[1], j'ai passé un an au sein d'une communauté indigène, dans la mangrove l'île de Siberut, en Indonésie. C'est là que j'ai remarqué que chaque fois que les femmes partaient pêcher, elles revenaient chargées de coquillages. Une pêche qui n'était pas quotidienne, mais en relation avec les cycles de la lune, surtout au moment de la nouvelle lune et la pleine lune, quand les coefficients de marée sont les plus élevés, et que la surface intertidale est importante. Ce sont à partir de ces observations que j'ai commencé à m'intéresser aux savoirs écologiques et locaux attachés aux coquillages, sous l'angle comparatif et régional, au Timor oriental et en Papouasie Nouvelle-Guinée, afin de mieux caractériser toutes les dimensions qui lui sont attachées : économique, sociale, écologique et politique.

© Thomas Guery

Ariadna Burgos - Ethnoécologue et maîtresse de conférence au Muséum national d'Histoire naturelle

Quel est l'objectif de votre projet ?

À la différence de la pêche des hommes qui s'intègre dans de vastes circuits commerciaux, la pêche des femmes est destinée à l'économie du foyer. Toutefois, c'est une pêche pour laquelle il existe une grande diversité d'espèces et de techniques utilisées. Une ressource sûre aussi, à l'inverse de la pêche du poisson : chaque fois que les femmes partent pêcher, elles rapportent quelque chose à la maison. Pourtant, la pêche des femmes n'est pas considérée en tant que telle : il n'existe pas de terminologie spécifique pour désigner la diversité de techniques engagées et même les femmes qui la pratiquent ne se considèrent pas toujours comme des pêcheuses. Par conséquent, les relevés et les données relatives à cette pêche sont quasi inexistantes dans les rapports nationaux et régionaux de pêche. Cette double invisibilisation a des impacts sur le choix et les décisions politiques basées souvent sur ces rapports. Il faut tenir en compte aussi ,que la pêche en soi n'est pas qu'une activité économique : elle possède aussi des composantes biologiques, sociétales, culturelles et environnementales essentielles. Les invertébrés occupent un rôle primordial dans l'alimentation de nombreuses sociétés littorales et dans le fonctionnement des écosystèmes marins : la durabilité de cette ressource est donc primordiale pour le bien-être humain et la résilience du littoral

Que vous apporte le « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme »

Ce prix est une opportunité unique pour mettre en lumière le rôle des femmes dans la pêche et des invertébrés marins dans l'alimentation des sociétés insulaires. Une occasion qui me permet aussi de valoriser une recherche interdisciplinaire. Je vais pouvoir passer à une recherche comparative plus vaste, au niveau de la région Asie Océanie, dans trois pays, Indonésie, Timor oriental et Papouasie-Nouvelle-Guinée, pour étudier, d'un endroit à l'autre, les différentes espèces ciblées, les techniques entreprises, les politiques associées à ce type de pêche. Je voudrais participer à établissemeny des directives pour que ce type de pêche soit mieux intégré au niveau national, la diversité des formes de pêche à l'œuvre dans les territoires tropicaux insulaires et le rôle des femmes dans ce type de pêcherie soient mieux comprises. Des femmes qui se sentent honorées que l'on s'intéresse à leur pêche, et qui ont envie de partager leurs savoirs : elles comprennent qu'elles possèdent des savoirs locaux uniques et qu'elles ont des choses à apprendre à des chercheurs par occidentaux. Moi je les appelle « mes professeurs ».

© A. Burgis et P. Dillais

Pêche de *Codakia tigerina* dans les îles Kavieng, Papouasie Nouvelle-Guinée

1. *« Ethnoécologie d'une société Mentawai : Femmes, Mangroves et Coquillages de l'île de Siberut », 2013*

CARIBARÓ : des tortues et des objets lithiques

En raison de la montée du niveau de la mer, l'archipel de Bocas del Toro, à l'ouest du Panama sur la côte Caraïbe, est composé d'îles continentales isolées du continent entre 9000 et 5000 BCE. Son potentiel archéologique, éclipsé par les provinces centrales et les provinces du Pacifique, est resté inconnu jusqu'en 1949. En 2019, Sandrine Grouard, maître de conférence du Muséum et archéozoologue, découvre trois nouveaux sites. Lauréate de la cinquième édition du « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme », elle nous présente son projet de recherche Caribaró (« Enquête archéologique et ethnoarchéologique sur l'archipel de Bocas del Toro, Panama »).

Quelle est la genèse de votre projet ?

Je travaille depuis une vingtaine d'années en Amérique Latine et dans la zone Caraïbe, ma zone de prédilection. En décembre 2019, sur l'île Colón, j'ai découvert trois sites riches en matériel bioarchéologique : un site archéologique qui était connu des autochtones, localisé sous le village amérindien de la Finca 910 ; plus au nord, à Punta Cayo Drago Nord, un autre site, inconnu celui-ci, qui correspondait en miroir à un site (Drago) localisé au sud de la baie, avec des tumuli et une grande quantité de matériel archéologique : une diversité d'artefacts lithiques réalisés en pierres exogènes, entourés de céramiques présentant des similitudes avec des pièces de Chiriquí, du Panama central et du Costa Rica, ce qui témoigne d'échanges complexes. Plus loin, à Swan Cay Beach, j'ai découvert un « cimetière » de tortues marines. Ces nombreux restes correspondraient-ils à un dépôt naturel ? Ou bien, aux déchets de ce qu'auraient prélevé des populations précolombiennes pour les consommer - parties charnues, pattes avant et pattes arrière ? Ou encore, ce que les populations coloniales auraient laissé après être venues prélever les écailles pour les expédier en Europe ? Trois hypothèses à vérifier, à partir de l'identification et de l'analyse du nombre d'espèces découvertes, des parties squelettiques représentées, des traces de découpe ou de brûlure laissées par les humains et d'une série de datations au carbone 14.

En quoi consiste votre projet de recherche ?

Les inventaires bioarchéologiques de ces nouveaux sites archéologiques et les datations vont nous permettre d'affiner nos connaissances chrono-culturelles des populations précolombiennes, leurs techniques de pêche, de chasse et de subsistance, l'Histoire biogéographique des espèces terrestres et marines, ainsi que les évolutions paléoenvironnementales et climatiques de l'archipel. J´ai obtenu du ministère de la Culture panaméen l'autorisation de prospections et de fouilles. Je travaille dans le cadre de ce projet en collaboration avec les autochtones. L'un d'eux détient une connaissance de la faune et de la flore impressionnante : grâce au souvenir d'un propos rapporté par son grand-père, nous avons découvert une plantation coloniale espagnole oubliée, alors que les Espagnols ont laissé très peu de traces sur cette île. Nous avons mis en place une stratégie de fouilles : il est urgent de s'occuper des deux sites localisés en bord de mer (Swan Cay Beach et Cayo Drago Nord), les propriétaires ayant donné leur accord pour que des fouilles archéologiques puissent être réalisées. En raison de la montée du niveau de la mer et des tempêtes, dont la fréquence s'est accélérée avec le changement climatique, il faut faire vite si l'on veut sauver ce qui reste des tortues.

Que vous apporte le « Prix de la Fondation ENGIE – Talents de la recherche au Musée de l'Homme »

Notre équipe est nombreuse et cosmopolite, et le Panama est un pays coûteux. Cette bourse va nous permettre de couvrir les frais de mission : transport (avion, route, ferry), logement, nourriture, outils et énergie. En fonction du type de matériel archéologique découvert, chaque spécialiste se rendra au Panama pour étudier le matériel ou réaliser des analyses. Je vais aussi faire une demande d'extraction du matériel auprès du Ministère de la Culture panaméen pour pouvoir étudier certaines pièces au Muséum national d'Histoire naturelle, des espèces rares par exemple. En ligne de fond, mes recherches consistent toujours dans l'étude des rapports entre les humains et les animaux. Les tortues de Swan Cay Beach mais aussi les poissons, les techniques de pêche traditionnelles précolombiennes et modernes et la manière d'aborder la mer, non comme une frontière mais comme une voie de communication, sont de fabuleuses sources de connaissances pour le futur des îles.

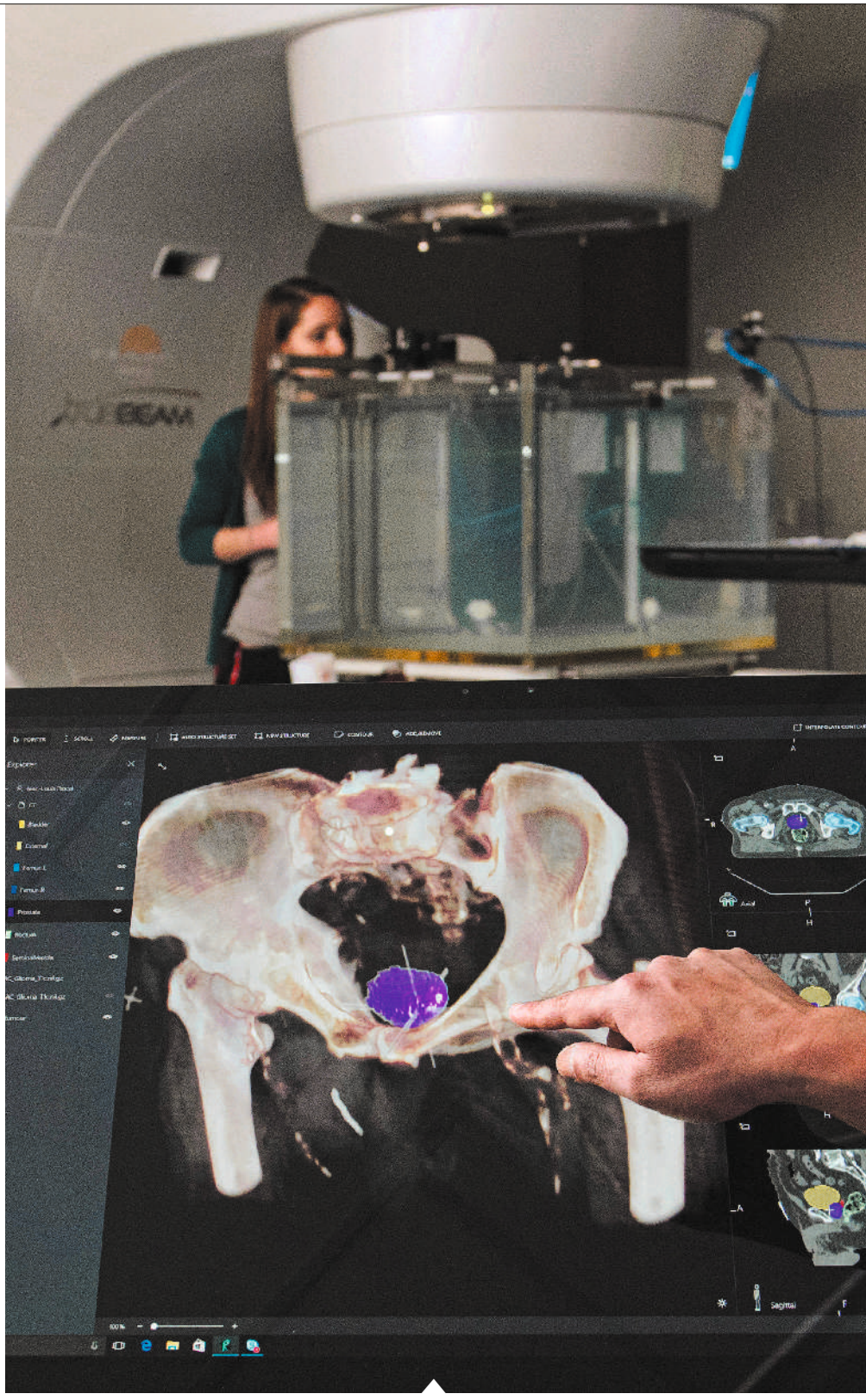
© Sandrine Grouard

Sandrine Grouard - Archéozoologue et maîtresse de conférence au Muséum national d'Histoire naturelle sur la Caraïbe, Equipe Archéozoologie, Archéobotanique : Sociétés, Pratiques, Environnements

Grands équilibres

Santé et médecine sont au premier rang des préoccupations des Français. Comment garder la première et améliorer la seconde, éviter les prochaines pandémies, faire face au changement climatique et à la pollution, tout en bénéficiant des avancées du numérique et de l'intelligence artificielle ? Mais aussi avoir le souci de soi, adopter une alimentation saine, avec pratique du sport et évitement des addictions…? Tous ces thèmes seront évoqués le 25 novembre à Strasbourg lors des Rencontres du Grand Est, par les meilleurs spécialistes français et européens ainsi que de nombreuses start-up, réunis par *Sciences et Avenir–La Recherche*. Anticiper est devenu crucial, comme le rappelle Jean Rottner, président de la région et médecin, pour qui la *« prévention est le premier acte de soin »*. Tel est l'objectif de la « Santé globale » — titre de ces Rencontres 2022 — qui privilégie les grands équilibres du vivant, humains mais aussi plantes, animaux, écosystèmes… En région Grand Est et sur toute la planète. ■ **Dominique Leglu**

@dominiqueleglu



Le programme d'apprentissage en profondeur (« deep learning ») InnerEye, développé par Microsoft, permettra aux chercheurs d'affiner leurs propres modèles d'images médicales (ici un scan 3D de la prostate).

Santé globale

Les algorithmes décuplent le pouvoir de l'imagerie

Les liens entre intelligence artificielle et médecine seront au cœur des Rencontres du Grand Est sur le thème de la santé globale, événement organisé par « Sciences et Avenir-La Recherche » le 25 novembre, à Strasbourg. Exemple avec la radiomique, nouvelle discipline qui pourrait révolutionner le diagnostic des cancers.

Par Hugo Jalinière @HugoJaliniere

Automatiser les meilleurs diagnostics possibles des cancers pour le plus grand nombre, à partir de simples imageries, sans biopsie ni examen invasif. C'est l'incroyable promesse que porte la radiomique, discipline née dans les publications scientifiques en 2012 seulement — deux études cette année-là, 912 en 2019 et plus de 2200 en 2022. Depuis tout juste dix ans, cette technique d'imagerie médicale entraîne des algorithmes à révéler, dans de simples images, non seulement l'organisation et l'architecture des tissus, mais aussi leur composition cellulaire et moléculaire. Or, les tumeurs ne sont pas qu'une masse de cellules cancéreuses indifférenciées, mais des environnements complexes dont chaque caractéristique peut s'avérer pertinente pour choisir le traitement le plus adapté. L'hypothèse de départ de la radiomique est ainsi particulièrement adaptée au cancer, l'idée étant d'utiliser l'intelligence artificielle pour extraire d'une IRM, d'un scanner ou d'un PET scan des informations génétiques, protéiques, métaboliques, physiologiques et, bien sûr, anatomiques.

« Il existe beaucoup de preuves de concept, mais aucun outil de radiomique n'est encore utilisé en routine », rappelle Irène Buvat, directrice du Laboratoire d'imagerie translationnelle en oncologie à l'institut Curie, à Paris, qui interviendra à ce sujet lors des Rencontres du Grand Est le 25 novembre à Strasbourg (Bas-Rhin). *« Nous manquons encore de recul pour garantir que les machines donneront*

JEAN ROTTNER

PRÉSIDENT DE LA RÉGION GRAND EST, MÉDECIN URGENTISTE DANS LE GROUPE HOSPITALIER DE LA RÉGION DE MULHOUSE ET SUD-ALSACE

« La prévention est le premier acte de soin »

Le 25 novembre, les Rencontres du Grand Est ont pour titre « Santé globale, le nouveau défi ». En quoi ce terme vous semble-t-il important ?
Lors de cette manifestation, on ne va pas seulement parler du soin, du médical — l'hôpital, les urgences, le manque de médecins — , on va aussi évoquer la qualité de vie, la prévention, l'innovation. Car il faut que le monde de la santé se décloisonne. Que celui des hôpitaux soit beaucoup plus en lien avec le secteur industriel, la recherche, les start-up, les écosystèmes de la French Tech…

SEBASTIEN BOZON / AFP

Et pour votre région Grand Est ?
L'aménagement médical, pour moi, fait partie intégrante de l'aménagement du territoire. Nous avons fait le choix politique de quatre piliers majeurs, qui doivent communiquer : numérique, développement durable, industrie et santé. Pour renforcer l'attractivité de tout notre territoire, nous installons ainsi le très haut débit, avec un investissement de 2,5 milliards d'euros sur six ans.

L'annonce récente par le ministre François Braun de visites médicales gratuites à 25, 45 et 65 ans est-elle une bonne chose ?
Oui. La prévention est indispensable, et il faut faire comprendre à la population qu'elle constitue le premier acte de soin. La gratuité, c'est bien.

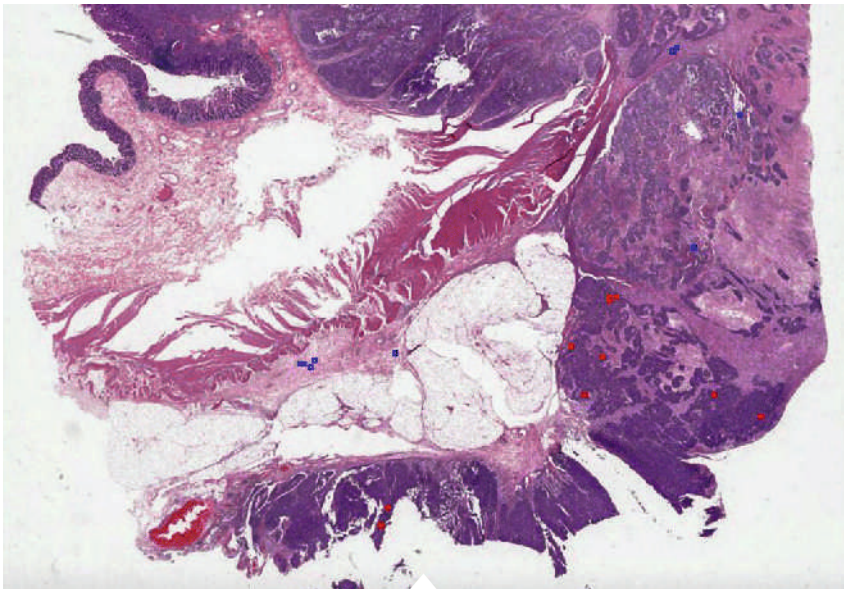
Une de vos priorités ?
La santé mentale, en aidant les structures de prise en charge des jeunes qui ont particulièrement souffert du Covid. Nous menons une action collective avec le recteur de Strasbourg et, à Mulhouse, vis-à-vis des enfants les plus en difficulté. Et nous faisons un effort intense envers toutes les professions paramédicales, infirmières, aides-soignantes, auxiliaires de vie, kinésithérapeutes — dans notre région, les études de kiné sont gratuites. ■

Propos recueillis par D. J. L.

des informations utiles au traitement quel que soit le cancer », ajoute l'experte lauréate du prix Ruban Rose Avenir 2021 décerné aux chercheurs faisant avancer la lutte contre les cancers du sein.

Des algorithmes pour déterminer les caractéristiques des tumeurs

Reste que l'intelligence artificielle peut bel et bien être entraînée pour révéler dans des images numérisées des informations en apparence invisibles. Ainsi, deux algorithmes travaillant sur les lames d'anatomopathologie, ces échantillons de tumeurs prélevés lors d'une chirurgie ou d'une biopsie, viennent d'obtenir leur marquage CE, qui ouvre la voie de leur mise sur le marché en Europe. Au contraire de la radiomique qui travaille sur de l'imagerie médicale *in vivo*, prise sur le patient, ces deux algorithmes de la start-up franco-américaine Owkin analysent les échantillons de tumeurs pour déterminer leurs caractéristiques. En l'occurrence, le programme RlapsRisk BC est conçu pour prédire la probabilité pour une personne atteinte d'un cancer du sein précoce de rechuter après le traitement, permettant ainsi aux oncologues de déterminer quelles patientes à haut risque peuvent bénéficier de thérapies ciblées et quelles patientes à faible risque pourraient éviter la chimiothérapie.
Le second, MSIntuit CRC, repère sur un échantillon de tumeur colorectale un biomarqueur révélant un défaut dans la capacité des cellules à corriger les erreurs qui se produisent lorsque l'ADN est copié. Une information cruciale pour administrer le traitement avec le plus de chances de succès. Pour mettre au point ces deux outils, Owkin a collaboré avec l'institut Gustave-Roussy (Villejuif) qui a fourni des milliers de ces lames anatomopathologie numérisées ainsi que les données de patient correspondantes : réponse aux traitements, informations génétiques, cliniques, etc.
« C'est le principe de l'apprentissage supervisé : on indique au programme des caractéristiques a priori *non visuelles*



OWKIN

Sur cet échantillon de tumeur colorectale, l'algorithme de la start-up Owkin identifie les cellules les plus instables génétiquement (points rouges).

IRÈNE BUVAT

« Avec l'IA, un petit centre hospitalier traitant peu de cancers pourrait offrir un diagnostic aussi bon que ce qui se fait dans les meilleurs centres »

Irène Buvat, directrice du Laboratoire d'imagerie translationnelle en oncologie de l'institut Curie

correspondant aux images qu'il analyse. De cette façon, il apprend à les interpréter au-delà de ce simple aspect visuel », précise Irène Buvat. La différence entre l'analyse anatomopathologique sur des prélèvements de tumeur et la radiomique, c'est que la première n'est pas forcément représentative de l'ensemble du cancer puisqu'elle n'analyse qu'un échantillon. « *L'avantage dans les deux cas n'est pas forcément de faire mieux que les meilleurs spécialistes,* prévient Irène Buvat. *S'ils font aussi bien, cela permettrait déjà de gommer les inégalités qui existent entre différents hôpitaux. Avec un tel outil, un petit centre hospitalier traitant peu de cancers dans l'année pourrait offrir un diagnostic aussi bon que ce qui se fait dans les meilleurs centres anticancer* », et donc de meilleures chances de survie. Par ailleurs, l'automatisation permise par ses programmes pourrait réduire les délais de prise en charge.

« *Il est important d'insister sur le fait que l'IA n'est qu'un outil, qu'elle ne remplacera pas les médecins, contrairement à ce que certains confrères aiment parfois dire* », rappelle le Pr Bernard Nordlinger, qui dirige à l'Académie de médecine le groupe de travail « Intelligence artificielle et santé » et qui interviendra lui aussi à Strasbourg. « *Mais les praticiens devront se former à son utilisation, des radiologues jusqu'aux médecins généralistes. La santé du futur sera prise en charge par des médecins augmentés en quelque sorte, mais pas des docteurs automatiques* », conclut-il.

D'ici là, il faudra mettre au point des systèmes d'évaluation des algorithmes eux-mêmes pour tenter de comprendre comment ils parviennent à leur conclusion. C'est en effet l'angle mort de l'IA, crucial dans le domaine du soin : si l'on sait à partir de quoi la machine a appris et les résultats qu'elle donne, le comment reste un mystère, souvent désigné « effet boîte noire » dans le domaine. Point qui sera également débattu à Strasbourg le 25 novembre. ■

PROGRAMME

Santé globale, le nouveau défi

- **Cette première édition des Rencontres du Grand Est sera l'occasion d'assister à cinq conférences (« Qu'est-ce que la santé globale », « Numérique, robotique et IA en médecine et santé », « Les dépendances nocives pour l'hygiène de vie »…), trois tables rondes (« Éviter une autre pandémie. Les effets du climat sur la santé », « Numérique, IA, médecins et patients », « Bien manger, faire du sport et mieux dormir »), deux dialogues, et huit présentations de start-up. En parallèle, des vidéos consacrées aux arbres, à la santé planétaire, à la santé globale ou encore aux chauves-souris seront projetées toute la journée. Parmi les intervenants : Benjamin Roche (IRD), Bernard Nordlinger (Académie de médecine), Irène Buvat (institut Curie), Mathilde Pascal (Santé publique France).**
- **Siège de la région Grand Est, 1, place Adrien-Zeller, 67000 Strasbourg.**
- **Et sur Internet : www.lesrencontressanteglobale.fr**
- **Le 25 novembre à 9 h 30.**

NANDA GONZAGUE/TRANSIT

BENJAMIN ROCHE

DIRECTEUR DE RECHERCHE À L'INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT (IRD) *

« Protéger la biodiversité, c'est diminuer le risque épidémique »

Est-ce un effet de loupe médiatique ou les épidémies sont réellement de plus en plus nombreuses ?
Oui, on en enregistre quatre fois plus aujourd'hui que dans les années 1970. Et parmi ces maladies émergentes, 75 % sont des zoonoses, c'est-à-dire dues à un agent pathogène — virus, bactérie, ou parasite — qui se transmet de l'animal à l'humain. Le principal facteur explicatif, c'est l'impact des activités humaines sur la nature. Quand un écosystème est diversifié en matière d'espèces, il peut freiner le développement d'une épidémie, puisque toutes les espèces animales ne sont pas capables de transmettre l'ensemble des virus. En perdant de cette biodiversité, les barrières tombent et les agents pathogènes circulent beaucoup plus.

À quoi est due cette perte aujourd'hui ?
La cause principale est la déforestation. En plus de la destruction d'espèces, la diminution des surfaces de forêt renforce la proximité de l'humain et des animaux sauvages, ce qui favorise la propagation des maladies. Celles-ci gagnent très rapidement toutes les régions du monde car la circulation internationale ne laisse plus le temps de les contrôler. On l'a bien vu avec l'épidémie de coronavirus : on est passés d'une dizaine de cas de pneumonie atypique en Chine en décembre 2019 à la quasi-totalité du monde en confinement, trois mois plus tard.

Comment peut-on se protéger des pandémies à venir ?
Il y a trois niveaux d'analyse. Quand le virus est là, il faut avoir les outils : vaccins, thérapies, etc. Mais à partir du moment où il s'est propagé, on sait qu'il y aura des dégâts sur les plans humain et économique. C'est déjà trop tard. Ce qui nous amène au second impératif : se préparer. On sait que de nouvelles pandémies arrivent. Il faut prévenir l'évolution et la transmission en ayant des plans d'actions quand une maladie émerge. Le développement de nouveaux vaccins en fait aussi partie.
Et puis, reste enfin la prévention. Puisque les épidémies apparaissent parce que l'on perd en biodiversité, il faut protéger les écosystèmes. Mais tout en veillant à ne pas oublier les populations riveraines de la forêt, qui sont souvent contraintes de l'exploiter pour survivre.

Comment s'organise la recherche autour de ces questions ?
Aujourd'hui, on estime qu'il existe 500 000 à 800 000 espèces de virus qui peuvent toucher l'humain et qu'on ne connaît pas. On ne peut donc pas faire un plan de combat pour chaque virus. L'objectif est d'agir sur les facteurs qui favorisent l'émergence de ces virus. Il faut orienter la recherche académique vers des problèmes concrets, la protection des forêts, pour produire des connaissances scientifiques qui serviront directement aux opérationnels de terrain. ■ **Propos recueillis par Marie Parra**

MARION PARENT/DIVERGENCE

La déforestation permet aux agents pathogènes de circuler plus facilement.

* Il est aussi l'un des principaux architectes de l'initiative Prezode (Preventing Zoonotic Diseases Emergence), qui vise à prévenir les zoonoses à l'échelle internationale.

Télomères et longévité

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

Genèse d'une découverte

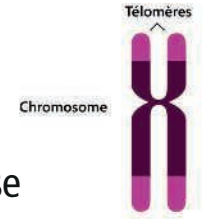
Le mot télomère vient du grec telos (fin) et meros (partie).

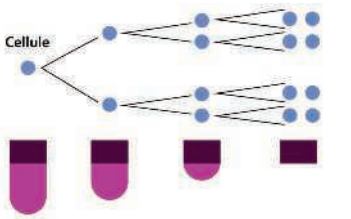
Dans les années 80, Elizabeth Blackburn est professeur de biologie à l'Université de Californie. Elle collabore avec Carol Greider, professeur de biologie moléculaire et Jack Szostak, professeur de génétique, afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire. Leurs travaux cherchent à expliquer comment les divisions cellulaires successives peuvent s'enchaîner sans que les chromosomes ne fusionnent entre eux ou ne s'abiment.

Mitose cellulaire et réplication des chromosomes

Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

Deux découvertes en une : télomères et télomérase





Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par provoquer la mort de la cellule, appelée sénescence. Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales. Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

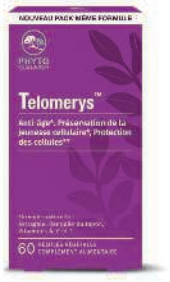
Astragale et télomères,

Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'Astragalus membranaceus, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

Des conseils ?

Les experts du Laboratoire PhytoResearch sont à votre écoute au **01 84 20 63 10** et sur www.telomerys.com

Telomerys™ : Préservation de la jeunesse cellulaire



Disponible en pharmacie

Telomerys 60 gélules végétales est disponible grâce au code ACL 602 42 56

Le bâillement, mystérieux gardien de la vigilance

Pourquoi bâille-t-on ? Certainement pas pour oxygéner le cerveau ou réguler sa température, comme on l'a longtemps cru. Selon les dernières études, ce comportement réflexe agirait plutôt comme un stimulateur permettant de se reconnecter à notre environnement.

Universel, reproductible et à ce jour presque totalement incompris. Voilà une description du bâillement en 2022. Pourtant ce n'est pas faute de l'étudier scientifiquement. La question passionne nombre de chercheurs qui s'interrogent toujours sur la fonction de ce comportement stéréotypé d'allure réflexe. Ce sont des scientifiques néerlandais qui, en 1982, ont établi qu'il apparaissait chez l'humain dès la 12e semaine de vie *in utero*, le moment de l'existence où l'on bâille le plus. Mais l'humain n'est pas le seul concerné : cette action quotidienne et universelle s'observe chez tous les vertébrés, excepté chez la girafe.

La théorie la plus consensuelle aujourd'hui dans la communauté des neuroscientifiques, biologistes et éthologues sur la fonction du bâillement est la stimulation de la vigilance. Andrew Gallup, biologiste de l'évolution de l'Institut polytechnique de l'université de New York (États-Unis), s'appuie sur d'autres données issues de la recherche animale. Dans un travail publié en juin dans la revue *Behavioural Brain Research,* il défend l'idée que chez les animaux évoluant en groupe, le bâillement servirait à les prévenir qu'un des leurs est fatigué et qu'ils doivent donc redoubler de vigilance pour se protéger des prédateurs. Un signal d'alerte pour le moins efficace dont la « contagion », ou plutôt la particularité d'être facilement reproduit, remonte aux observations du célèbre neurologue Jean-Martin Charcot en 1889, popularisées depuis par l'adage selon lequel *« un bon bâilleur en fait bâiller sept »*.

Mais qu'est-ce que le bâillement d'un point de vue physiologique ? Tout commence par une inspiration lente, qui se poursuit par un bref arrêt des flux d'air et s'achève par une expiration passive associée à un étirement de très nombreux muscles du corps, plus d'une cin-

PATHOLOGIE

Bâiller à s'en décrocher la mâchoire

Par ordre de fréquence décroissante, avant le rire et les vomissements, le bâillement représente la principale cause de luxation de l'articulation temporo-mandibulaire, l'une des plus sollicitées de l'organisme. On estime que 5 % de la population éprouve des douleurs à l'ouverture de la bouche et 3 % notamment en mâchant et en bâillant. Les causes sont souvent liées à une hyperlaxité des ligaments ou des problèmes d'occlusion dentaire. Heureusement, la manœuvre de Nélaton — une réduction de la luxation exercée par le médecin — permet de remettre les structures osseuses en place.

250 000
Le nombre de bâillements dans une vie

5 à 10 secondes
La durée moyenne du bâillement

Il apparaît **dès la 12e semaine « in utero »**

Le fœtus bâille **30 à 50 fois par jour,** l'adulte **moins de 20 fois**

PLAINPICTURE

quantaine (respiratoires, de la face, du cou…). Auxquels s'ajoutent parfois ceux des bras et du tronc, en cas de pandiculation, c'est-à-dire d'étirement de tout son long, les bras vers le haut, un peu comme un chat.

Un réflexe qui implique donc le corps entier. Au XVIIIe siècle, un médecin néerlandais, Johannes de Gorter, affirmait que le bâillement favorisait l'oxygénation du cerveau. « *Cette idée reçue, toujours bien ancrée, a pourtant été scientifiquement infirmée à la fin des années 1980* », précise le Dr Olivier Walusinski. Ce généraliste, aujourd'hui à la retraite, s'est passionné pour le sujet. « *Jeune médecin en 1978, mon ignorance d'alors et mon incapacité à soulager un patient de 30 ans vu en consultation pour des bâillements inexpliqués très handicapants — une fois par minute depuis plusieurs jours —, m'ont donné envie d'en savoir plus.* » S'il n'a jamais su ce que devenait cet étrange patient, il a depuis minutieusement compilé au niveau international tous les travaux, thèses et articles parus sur le bâillement*.

Des théories successivement battues en brèche

Car différentes théories n'ont cessé d'être élaborées depuis plusieurs siècles sur la fonction de ces quelques secondes d'abandon et d'étirement. Dès le Ve siècle avant J.-C., Hippocrate y voyait le signe annonciateur d'une fièvre permettant à l'air chaud accumulé dans le corps de s'évacuer. Le concept d'oxygénation du cerveau de Johannes de Gorter n'a été battu en brèche qu'en 1987 avec les travaux du célèbre neurobiologiste américain Robert Provine. Celui-ci n'avait en effet constaté aucune augmentation de la fréquence des bâillements chez des volontaires ayant respiré des mélanges plus ou moins enrichis en gaz carbonique et oxygène. Preuve que le corps n'adopte pas ce comportement lors d'un manque d'oxygénation cérébrale. Plus récemment, en 2007, Andrew Gallup a défendu l'hypothèse

du bâillement comme mode de thermorégulation, selon la théorie dite du radiateur. Une hypothèse ne reposant toutefois sur aucune mesure de température prise au niveau cérébral. Un défaut qui lui a valu d'être vertement critiqué par de nombreux chercheurs. Sa théorie sera d'ailleurs balayée par des calculs d'un pharmacologue finlandais de l'université d'Helsinki, Hannu Elo, publiés dans *Sleep Medicine* en 2011. Celui-ci y démontrait qu'il est impossible de faire baisser la température corporelle en bâillant.

La zone cérébrale impliquée n'est toujours pas identifiée

Si le cerveau n'est pas la cible du bâillement, il en est néanmoins l'acteur. On sait aujourd'hui que plusieurs structures cérébrales (noyau paraventriculaire de l'hypothalamus, bulbe, pont…) sont impliquées, sans oublier différents neurotransmetteurs (dopamine, ocytocine, acétylcholine…). Néanmoins, *« aucune structure cérébrale s'apparentant à la zone du bâillement n'a à ce jour été identifiée »*, affirme Olivier Walusinski. La recherche sur ce point est toutefois mouvante : un travail publié en septembre dans *Behavioural Brain Research* par l'équipe de Natsuko Kubota, de l'université de Tokyo (Japon), a permis d'identifier, lors d'un bâillement chez le rat dans des conditions particulières de stress, des connexions cérébrales jusqu'ici inconnues entre le noyau supraventriculaire de l'hypothalamus et l'amygdale, la zone de contrôle des émotions.

REISSLAND N, FRANCIS B, MASON J (2012)/PLOS ONE

Le bâillement chez le fœtus s'observe dès la douzième semaine de vie et est plus fréquent que l'adulte (image obtenue par échographie 4D).

Fort de sa revue de la littérature scientifique, Olivier Walusinski a sa propre théorie sur la fonction du bâillement, qu'il définit comme un accélérateur de changement d'état. Quand l'environnement ne stimule plus suffisamment notre attention, nous bâillons pour nous reconnecter et sortir d'un état de méditation. Au sein du liquide cérébral, sont présents de nombreux facteurs dits hypnogènes (peptide vasoactif, prolactine, endocannabinoïde, prostaglandine PGD2…), dont le rôle est d'induire le sommeil lors de l'étirement de la colonne vertébrale. Le fait de bâiller contribuerait à diminuer localement la concentration de ces facteurs et donc à maintenir l'éveil. Mais il ne s'agit que d'une hypothèse car il reste à démontrer que la concentration des molécules est différente avant et après le bâillement. Si celui-ci est la plupart du temps physiologique et survient lors de moments de fatigue et de dette de sommeil, ou au cours de certaines activités (éveil, coucher, repas, interactions avec les autres…), il peut aussi être lié à certaines maladies (accident vasculaire cérébral, migraine, épilepsie, schizophrénie, autisme…). La prise de médicaments peut également être un facteur de son déclenchement. Dans un rapport français de pharmacovigilance établi en 2007, une quarantaine de molécules ont ainsi été identifiées. Principaux responsables : certains antidépresseurs de la famille des inhibiteurs de la recapture de la sérotonine, souvent à l'origine de bâillements répétés en salves. *« Un symptôme souvent mal interprété tant par les patients que par leurs thérapeutes,* précise Olivier Walusinski. *Perçus comme une persistance de l'état dépressif, ils peuvent conduire à tort à une augmentation des doses et s'aggraver, alors que seule leur diminution les ferait disparaître.* »
Dernier point, il ne faut pas négliger les bienfaits du bâillement : il relaxe, au point que certains sportifs le pratiquent avant une épreuve *(lire l'encadré ci-contre)*. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

* www.baillement.com

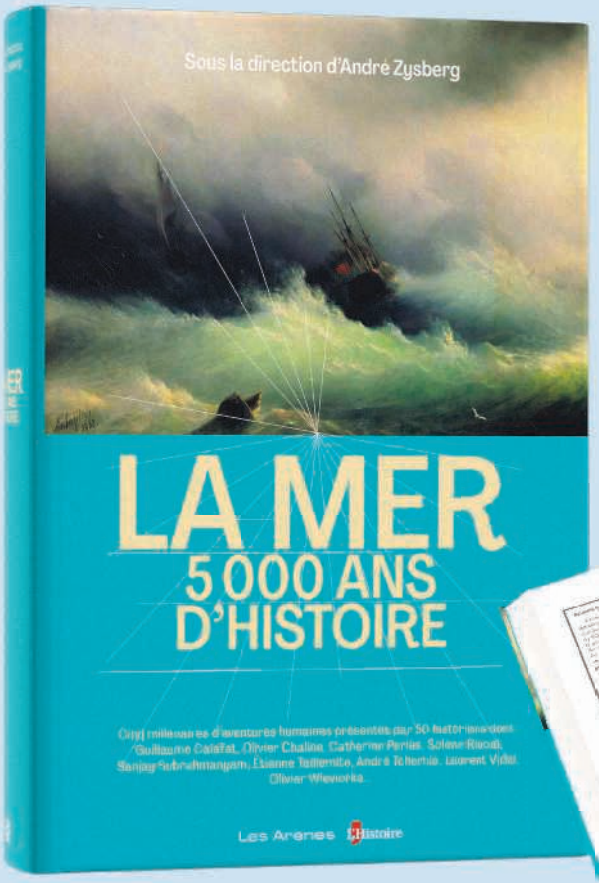
STRESS

Une méthode de relaxation efficace

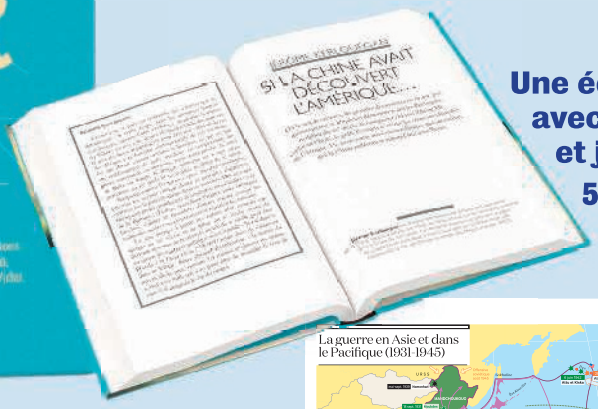
Socialement porteur d'une signification d'ennui et de fatigue, le bâillement peut néanmoins s'avérer une excellente méthode de relaxation et d'échappement au stress, très bien connue des adeptes du yoga et de la gymnastique douce mais aussi des artistes (avant de monter sur scène) et des sportifs. Aux jeux Olympiques de Vancouver (Canada) en 2010, un patineur de vitesse américain, Apolo Ohno, avait confié aux commentateurs sportifs que le but de cette routine était de s'oxygéner le cerveau. Une idée fausse, mais bâiller lui permettait en réalité de se décontracter tout en s'assurant une meilleure concentration pour l'épreuve à venir.

ÉVÉNEMENT !
en librairie le 13 octobre

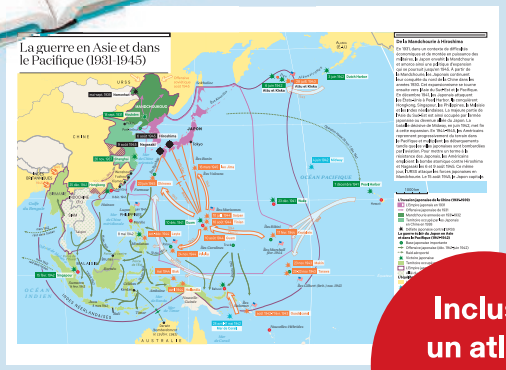
Tout sur la mer par les meilleurs spécialistes



50 historiens et historiennes dont notamment :
Guillaume Calafat,
Olivier Chaline,
Catherine Perlès,
Solène Rivoal,
Sanjay Subrahmanyam,
Étienne Taillemite,
Sylvain Venayre,
Laurent Vidal,
Olivier Wieviorka,
André Zysberg...



Une édition de luxe avec couverture reliée et jaquette
592 pages - 29,90€



La Mer, 5000 ans d'histoire interroge les liens que les sociétés humaines ont tissés avec la mer. Comment les hommes n'ont eu de cesse de s'approprier la mer par le voyage, le commerce, la pêche, la guerre, mais aussi comment, en retour, la mer a nourri les imaginaires et les croyances, influencé les modes de vie. Comment s'est structuré notre rapport à cette nature indomptable, nourricière et menacée.
Sélectionnés parmi les meilleurs articles de la revue *L'Histoire*, ces textes couvrent l'ensemble des périodes historiques : des premiers navigateurs du Néolithique aux nouveaux pirates de la mer Rouge en passant par les thalassocraties antiques et les Grandes Découvertes.

Inclus : un atlas de 64 pages en couleur

Sommaire

1. L'art de la navigation
2. Explorateurs et aventuriers
3. Vivre sur la mer
4. La guerre maritime
5. Thalassocraties et empires maritimes
6. Un milieu riche en ressources
7. Mythes et légendes

L'Histoire ◎ Les Arènes

Le pois chiche, roi des légumineuses

Ce légume sec apporte de nombreux bienfaits nutritionnels, à condition de bien le cuisiner pour mieux le digérer.

Houmous, falafels, curry (ou chana masala)… Le pois chiche est un ingrédient phare de la cuisine orientale et indienne. Cette graine passe-partout de la famille des légumineuses *(Fabaceae)* se fait une place grandissante dans les linéaires (pâtes, galettes végétales, etc.). Avec l'essor des régimes végétarien et végétalien (ce dernier exclut, en plus de la viande et du poisson, les œufs et les produits laitiers), ce légume sec est même devenu un incontournable des réseaux sociaux, inspirant de nouvelles recettes : pâte à tartiner chocolatée, lait végétal, porridge… Riche en fibres et en protéines, le pois chiche procure de nombreux bienfaits nutritionnels.

Il fournit vitamines et minéraux

Une portion de 100 g de pois chiches cuits fournit 1,3 mg de fer (1). Ce constituant de l'hémoglobine intervient dans la production des neurotransmetteurs et de l'adénosine triphosphate (ATP), la molécule qui fournit de l'énergie aux cellules. Outre des apports en calcium (72 mg pour 100 g), phosphore (140 mg/100 g), zinc (1,1 mg/100 g) et magnésium (44 mg/100 g), le pois chiche procure aussi du potassium (170 mg/100 g), utile pour réguler la pression artérielle, mais aussi essentiel à l'équilibre acido-basique de l'organisme ainsi qu'au bon fonctionnement des nerfs et des muscles. En outre, il apporte de la vitamine B9 (ou acide folique) ainsi que de la vitamine K (2,5 microgrammes/100 g), nécessaire à une bonne coagulation sanguine.

48 %
des Français consomment des légumineuses au moins une fois par semaine.
(SOURCE : CREDOC 2021.)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

LÉGUMINEUSE Plante portant des fruits appelés gousses qui contiennent des graines. On distingue les haricots (soja, fèves, haricots rouges), les lentilles (vertes, corail…) et les pois (pois chiches, pois cassés…).

AMIDON RÉSISTANT Glucide subissant une fermentation bactérienne dans le côlon. Il est converti en acides gras à chaînes courtes (AGCC) tels que le butyrate, qui servent de nourriture aux bactéries.

GLUTEN Composé de protéines (prolamines et gluténines) présentes dans les céréales (blé, orge, seigle, etc.), il est responsable de la maladie cœliaque ou d'une sensibilité intestinale.

C'est une bonne source de protéines

Avec 16,6 g de protéines, une portion de 200 g de pois chiches cuits fournit un tiers des apports recommandés chaque jour pour une femme (0,83 g de protéine par kilo de masse corporelle, soit 49,8 g pour 60 kg), ce qui en fait un aliment très prisé des végétariens et végétaliens. Toutefois, pour recevoir en quantité appropriée les neuf acides aminés dits essentiels car indispensables pour synthétiser l'ensemble des protéines nécessaires à l'organisme, il faut combiner cette légumineuse, pauvre en méthionine, à une céréale, comme la semoule de blé. Le pois chiche est également intéressant pour sa faible teneur en lipides (3 g/100 g), pour moitié de l'acide linoléique (ou oméga 6), un acide gras poly-insaturé.

Il prévient le risque cardio-vasculaire

Principalement insolubles, les fibres du pois chiche (8,2 g/100 g) accélèrent le transit intestinal, diminuent le temps de contact entre des composés toxiques et la muqueuse intestinale et procurent une sensation de satiété. En outre, elles limitent l'absorption des sucres et des graisses par l'organisme, contribuant ainsi à la prévention des maladies cardio-vasculaires. Consommer chaque jour une portion de 130 g de légumineuses dont les pois chiches réduirait de 5 % le taux de « mauvais » cholestérol (LDL) (1), tandis que la consommation quotidienne de 30 g de légumineuses diminuerait de 35 % le risque de développer un diabète de type 2, par rapport à une consommation plus faible de 13 g/jour (2). Le Programme national nutrition santé (PNNS 4) recommande d'élever sa consommation de légumes secs à au moins deux fois par semaine.

Attention à sa digestion

Le pois chiche contient une part importante d'amidon résistant (14,9 g/100 g), un glucide complexe source d'énergie mais non digestible, autrement dit, qui n'est pas absorbé par l'intestin grêle. Il peut ainsi provoquer de légers désagréments digestifs (gaz, ballonnements) chez les personnes aux intestins fragiles. Il est alors conseillé de faire tremper les pois chiches durant une nuit dans de l'eau salée avec une cuillère à soupe de bicarbonate de soude alimentaire puis de les rincer avant la cuisson. Ce geste permet d'éliminer une partie des sucs non digestibles et de faciliter leur digestion. Mieux vaut aussi retirer la membrane blanche des graines cuites.

Sa farine est sans gluten

Utilisée pour la préparation de la traditionnelle socca niçoise (une grande galette croustillante et moelleuse saupoudrée de poivre) et des panisses provençaux, la farine de pois chiche ne contient pas de gluten. Elle est donc particulièrement adaptée pour les personnes allergiques ou intolérantes. Deux fois plus riche en protéines (22,4 g/100 g) que la farine de blé tendre T45 (9,94 g/100 g), la farine de pois chiche apporte des minéraux et des fibres (10,8 g/100 g). Néanmoins, elle est dense et a donc tendance à moins bien lever. À noter que l'eau de cuisson des pois chiche, l'aquafaba, se consomme également et remplace les œufs dans les recettes de mousse au chocolat ou de crème glacée. ■

Sylvie Boistard @syboistard

(1) Effect of dietary pulse intake on established therapeutic lipid targets for cardiovascular risk reduction : a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, Ha V. et al, *Canadian Medical Association Journal (CMAJ)*, 2014.

(2) Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study, Becerra-Tomás N. et al, *Clinical Nutrition*, 2018.

VANESSA GOUYOT Diététicienne-nutritionniste à Levallois-Perret (92)

Attention aux préparations trop transformées

« Les galettes végétales ou les falafels sont intéressants pour ceux qui ne veulent pas cuisiner des légumineuses mais ils contiennent nombre d'additifs. Les pâtes aux pois chiches peuvent faciliter la consommation de légumes secs et remplacer une portion de grains entiers à condition qu'ils soient le seul ingrédient du produit, non mélangé à une farine de blé. Le houmous (purée de pois chiche) est aussi une bonne alternative pour celles et ceux qui digèrent mal cette légumineuse en grains. »

GETTY IMAGES

Une partie des vestiges d'Herculanum, ville ensevelie sous des tonnes de boue et de lave après l'éruption du Vésuve en 79, a peu à peu été libérée du tuf volcanique à partir du début du XX^{e} siècle.

Herculanum

Plongée au cœur du théâtre souterrain

Moins connu que Pompéi, le site archéologique d'Herculanum, petite cité romaine détruite en 79 après J.-C. lors de l'éruption du Vésuve, abrite une curiosité : un théâtre antique enseveli à 25 mètres de profondeur, qui se visite en empruntant d'étroites galeries creusées dans la matière volcanique. Reportage en baie de Naples.

Par Marine Benoit, envoyée spéciale @marin_eben

Sous la pluie battante qui tombe ce jour-là à Ercolano — une banlieue tranquille et populaire au sud-est de Naples —, le petit bâtiment néoclassique teinté d'un ocre délavé passe totalement inaperçu. Seule une plaque gravée indique ce qui se cache derrière sa lourde porte : *« Entrée du théâtre d'Herculanum. Agrandie et facilitée pour le confort des visiteurs. 1865. »* Au beau milieu d'une rue passante, à quelques centaines de mètres du parc archéologique d'Herculanum, on est surpris de descendre dans un labyrinthe souterrain creusé directement dans la matière volcanique. Celle-là même qui recouvrit, en 79 après J.-C., ce qui était alors une petite ville côtière de 5000 habitants, dont une partie appartenait à de riches familles de l'Empire romain. Herculanum a été anéantie de façon bien plus rapide que Pompéi, sa voisine située à une quinzaine de kilomètres et victime de la même éruption. Alors que la seconde a disparu sous une couche de pierres ponces et de cendres, entraînant l'asphyxie de la plupart de ses habitants, ce sont deux vagues pyroclastiques qui ont carbonisé et figé la première en quelques secondes dans le gaz, la boue et le temps. Un événement d'une violence inouïe qui, paradoxalement, a permis l'exceptionnelle conservation de la cité : Herculanum est en effet le seul site antique au monde où ont été préservés des bâtiments sur trois niveaux d'élévation (rez-de-chaussée, premier

BRUNO BOURGEOIS

et deuxième étages), en grande partie libérés du tuf volcanique par Amedeo Maiuri à partir de 1927. En trois décennies, l'archéologue italien révéla au grand jour une cité antique jusqu'à son niveau romain, situé à 25 mètres de profondeur. Une prouesse technique pour l'époque, qui rend encore aujourd'hui ce lieu unique dans le monde de l'archéologie antique, où ne subsistent généralement que quelques mètres de murs tout au plus. « *Amedeo Maiuri a non seulement réussi à garder des maisons entières debout, mais il est aussi parvenu à préserver des peintures, des mosaïques, des sculptures, et surtout un grand nombre d'éléments en bois, vestiges organiques rarissimes pour leur fragilité* », énumère Nicolas Monteix, archéologue spécialiste d'Herculanum et maître de conférences à l'université de Rouen.

Un lieu totalement fermé au public jusqu'en 2017

Malgré la réussite de ce chantier titanesque, une vaste partie d'Herculanum, recouverte dès le XVIIIe siècle par la ville moderne de Resina (rebaptisée Ercolano en 1969), ne put être explorée. Le théâtre, lui, ne fut jamais dégagé, condamné à être arpenté depuis le sous-sol, et non à l'air libre comme le reste du parc. Cette situation lui valut de rester totalement fermé au public jusqu'en 2017. Il faut dire que la promenade n'est pas des plus familiales : pour y descendre, casque, bonnes chaussures et lampe frontale sont nécessaires.

Le théâtre n'a jamais été dégagé, condamné à être arpenté depuis le sous-sol, et non à l'air libre comme le reste du parc archéologique

Il faut surtout être accompagné d'un guide pour encadrer une déambulation d'une heure à travers des couloirs humides et glissants à force de dépôts calcaires. Depuis sa nomination à la tête du parc archéologique d'Herculanum il y a cinq ans, Francesco Sirano, archéologue spécialiste du monde gréco-romain, rêve pourtant de faire du théâtre un espace aussi accessible que le reste du domaine : « *Si cela ne tenait qu'à moi, j'ouvrirais ce lieu incroyable tous les jours. Mais nous manquons de personnel pour pouvoir assurer cet accès quotidien en toute sécurité.* » En 2017, il avait déjà fallu de l'audace pour décider d'embarquer des touristes, même en petit nombre, dans ce sombre dédale. Avant cela, le lieu n'avait été que sporadiquement ouvert, comme au cours des XVIIIe et XIXe siècles, lorsque les passionnés de vieilles pierres pouvaient occasionnellement y descendre pour satisfaire leur curiosité et alimenter leurs carnets de voyage. Depuis avril dernier, des visites régulières ont enfin été instaurées.

À mesure que l'on s'enfonce, la fraîcheur et l'humidité s'accentuent. L'espace dans lequel on débouche est haut de plafond, encadré par les *tribunalia*, sortes de loges d'honneur réservées aux VIP de l'époque. Malgré cette indication, il est impossible de se repérer dans l'espace, percé de nombreux petits couloirs qui débouchent tantôt vers des culs-de-sac, tantôt vers d'autres parties de la salle. Construit à l'époque d'Auguste (premier empereur romain, de 27 à 14 avant J.-C.), le théâtre avait une capacité d'environ 2500 personnes et une forme typiquement romaine : les spectateurs y prenaient place dans des *cavea* — des gradins — de trois catégories différentes, chacune correspondant à un statut social. Seule une petite portion de ces gradins est encore visible, à travers laquelle il est possible d'entrevoir un bout de ciel. La scène frontale, partiellement dégagée, avait quant à elle l'apparence d'une façade de bâtiment classique, décorée de colonnes et de statues encastrées dans des niches.

Tout commence en 1709 quand un paysan fore un puits

Une surprise se cache un peu plus loin, au fond d'un minuscule corridor. Francesco Sirano éclaire le plafond. Après de longues secondes à observer le noir surplombant, un trou se dessine. Un simple trou. Mais dont la charge symbolique est énorme : « *C'est le puits. C'est là que tout a commencé.* » En 1709, en forant un puits dans son champ, un paysan nommé Enzechetta tombe sur un morceau de marbre. De cette cavité, il ne tarde pas à ressortir des dizaines d'autres éclats de nuances différentes. La nouvelle parvient jusqu'aux oreilles d'Emmanuel Maurice de Lorraine, futur duc d'Elbeuf qui, fiancé à une princesse napolitaine, se fait construire au même moment une somptueuse villa

ARCHÉOLOGIE

Des objets en bois bien conservés

Herculanum est le site antique qui a légué le plus d'objets usuels romains en matériaux organiques, dont certains extraordinairement conservés. On peut notamment admirer dans le petit musée aménagé sur le site une luxueuse armoire, des commodes, une table de chevet, un guéridon à trois pieds, un lit et même un berceau à bascule, tous en bois et encore entiers ! Ont également été retrouvés des fonds de panier en osier, des morceaux de textile ou encore un nécessaire de chirurgie en cuir. Mais ce qui fascine le plus les archéologues reste peut-être les 1838 rouleaux de papyrus préservés par les boues brûlantes au sein de la bibliothèque de la villa des Papyrus, dont nous savons qu'une partie contient des textes de philosophie grecque.

Les gradins du théâtre, accessibles par des tunnels creusés dans la lave au XVIIIe siècle, pouvaient accueillir environ 2500 spectateurs (ci-dessus et ci-dessous). La scène, pavée de marbre blanc, était décorée de colonnes (à droite). L'empreinte d'une statue aujourd'hui disparue est visible dans la lave (à gauche).

RICCARDO SIANO - M. DORATI / ANADOLU AGENCY/ AFP - PIER PAOLO METELLI - ARTEMV/ PARCO ARCHEOLOGICO DI ERCOLANO - M. DORATI / ANADOLU AGENCY/ AFP

FRANCESCO SIRANO

ARCHÉOLOGUE ET DIRECTEUR DU PARC ARCHÉOLOGIQUE D'HERCULANUM

« Une vaste partie de la ville se trouve encore enfouie sous terre »

En octobre 2021, vous avez annoncé la découverte d'un squelette lors de travaux d'entretien au niveau de l'ancien rivage — celui d'un homme qui avait sans doute tenté de fuir par la mer. Il faut croire qu'il reste des choses à découvrir à Herculanum.
Oh oui, bien des choses ! Nous savons qu'une vaste partie de la ville se trouve encore enfouie sous terre, environ 75 % selon les estimations. Nous n'avons par exemple jamais mis au jour le forum, la place sur laquelle se déroulait toute une partie de la vie publique des cités romaines. Le souci, c'est qu'il n'existe aujourd'hui plus que deux zones où des fouilles sont envisageables, tout simplement parce que des logements encerclent le site : le quartier sud-est d'Herculanum, où se trouve aujourd'hui en surface un jardin public, et la deuxième partie de la palestre, fouillée à moitié et où l'on pense que se trouvait le port.

ALAMY/ZUMA PRESS/PHOTO12.COM

Des fouilles sont-elles prévues ?
Nous pourrions envisager de creuser à ces endroits, mais l'entreprise serait bien ambitieuse avec la méthodologie et les normes de sécurité actuelles requises face à des vestiges de cette fragilité. En somme, nous ne pourrions jamais reproduire ce qu'a accompli si vite Amedeo Maiuri, l'archéologue qui a sorti de terre la quasi-totalité d'Herculanum entre 1927 et 1958. En revanche, nous avons fait la promesse d'utiliser une donation dans un but scientifique, et nous sommes ainsi en train d'étudier quelle petite portion d'Herculanum déjà à découvert pourrait être fouillée sans trop d'efforts d'ingénierie.

Le site est-il condamné à rester figé ?
Non, car heureusement, nous avons de grands projets qui devraient débuter d'ici à 2023, grâce au financement de la fondation Packard. Le premier concerne la restauration de six des plus importantes maisons (*domus*) d'Herculanum, fermées au public depuis plus de quarante ans. Le second consiste en la construction d'une longue promenade le long de l'*antica spiaggia* (la plage antique), qui relierait les hangars à bateaux, où l'on peut voir les squelettes, à la villa des Papyrus. Le but de cet aménagement est de mettre en évidence le fait qu'Herculanum est, là encore, la seule ville de l'Empire romain à avoir préservé en quasi-totalité son front de mer. Enfin, nous venons de lancer un appel d'offres pour la restauration des thermes suburbains, inaccessibles aujourd'hui mais qui, par leur niveau de conservation, sont un lieu unique dans le monde ancien. ■

Propos recueillis par M. B.

« Herculanum est le seule ville de l'Empire romain à avoir préservé en quasi-totalité son front de mer »

J. ARNOLD IMAGES/ HEMIS.FR - F. SELLIES/ GETTY IMAGES - M. CANTILE / ALAMY/ PHOTO12.COM - J. ARNOLD IMAGES/ HEMIS.FR

La ville antique est dans un état de préservation exceptionnel. En témoignent la maison de Neptune et Amphitrite (ci-dessus), l'atrium de la maison du relief de Telephus (en haut à droite), une fresque représentant Hercule, Junon et Minerve (à droite). Les restes d'un homme, découverts en 2021, sont dégagés de la lave (à gauche).

dans les environs. Il rachète la parcelle de terrain à Enzechetta, persuadé de tenir là un temple dédié à Hercule. Durant les neuf mois de fouilles qu'il fait mener à ses frais, il extrait de ce qui était en réalité une salle de spectacle des plaques de marbre entières qu'il utilise pour embellir sa propre demeure. Il fait également remonter à la surface des colonnes sculptées et des statues qu'il vend ou offre dans un but diplomatique. Ici, les sources divergent : peut-être parce que ce commerce agace à Naples, ou parce qu'il se retrouve à court d'argent, le duc finit par mettre un terme au pillage. La cité engloutie s'endort alors à nouveau. Trente ans plus tard, en 1738, c'est Charles de Bourbon (le futur roi d'Espagne Charles III), fraîchement nommé roi des Deux-Siciles (le nom que porte à l'époque la moitié sud de l'Italie), qui se décide à reprendre des fouilles encadrées. Le souverain interdit toute virée dans le théâtre sauf autorisation royale, et désigne un ingénieur pour diriger l'exploration. Il met à sa disposition une équipe de forçats qui creuse un réseau de galeries en un temps record. L'excavation de ces ruines englouties se fait sans grande précision, mais elle n'en reste pas moins la toute première tentative d'une discipline rigoureuse qui allait devenir l'archéologie au XIXe siècle.

Une phrase en latin peinte en rouge sur la roche

Les fouilles s'étendent un peu au-delà du théâtre, mais la progression dans la roche est lente et pénible pour les travailleurs. Aussi en 1748, la découverte du site de Pompéi, bien plus simple à explorer, suspend des recherches qui ne reprendront qu'au siècle suivant.
En déambulant dans le théâtre, on réalise à quel point ces premières explorations ont laissé des traces : presque plus rien ne subsiste des décors de marbre, arrachés sans ménagement, ni des fresques qui ornaient généreusement les murs. Sur la paroi d'une galerie plus large que les autres, le directeur pointe avec le faisceau de sa lampe des graffitis gravés dans la roche par les ingénieurs de l'armée des Bourbons. Un certain « *Couturier* » a laissé sa marque. Tout comme, bien plus tard, un « *Joseph-Jean* », passé par là en 1806. Ces petites signatures côtoient non loin, sous une sorte d'alcôve, de bien plus grands caractères et beaucoup plus anciens, peints cette fois en rouge. Ils forment un morceau de phrase en latin : « *C'est quelque chose qui dit "Je ne t'aime plus parce que…", à vrai dire la raison n'est pas très claire* », plaisante l'archéologue. On se surprend à imaginer la scène : un soir de représentation, dans la pénombre des tribunes, un Romain ne peut s'empêcher d'écrire sur le mur contre lequel il s'appuie ce qu'il a sur le cœur. À cet instant, il est loin de se douter que ses états d'âme calligraphiés seront bientôt recouverts par la lave. Il est encore plus loin d'imaginer que près de 2000 ans plus tard, ils seront cette fois lus à voix haute. ■

4 NOVEMBRE 1922

Une marche taillée dans le roc : la découverte du siècle a été faite lors du déblaiement de tonnes de gravats près de l'hypogée de Ramsès VI. Howard Carter en était alors à sa 6e campagne dans la Vallée des Rois.

26 NOVEMBRE 1922

***« Des merveilles »*, répond Howard Carter** quand lord Carnarvon lui demande s'il voit quelque chose à la lueur d'une bougie alors qu'il vient de pratiquer une petite ouverture dans la porte scellée. Partout des lits funéraires en bois dorés, des éléments de chars, des coffres incrustés, des trônes en or...

Toutankhamon

Il y a 100 ans, la plus extraordinaire des découvertes archéologiques

Des milliers d'objets ruisselant d'or, un trésor archéologique comme le monde n'en avait jamais vu. En novembre 1922, le Britannique Howard Carter révélait l'existence de la tombe de Toutankhamon dans la Vallée des Rois, en Égypte. L'exploration dura pas moins de trois ans.

26 NOVEMBRE 1922 (suite)

Plus de 3000 ans s'étaient écoulés avant que ce sol de l'antichambre ne soit foulé. Au fond de la pièce, protégé entre deux statues royales noir et or, on distingue sur le mur les traces d'une porte scellée. Le photographe Harry Burton, arrivé mi-décembre, immortalisera toutes les étapes des découvertes par ses clichés uniques.

17 FÉVRIER 1923

Howard Carter et Arthur Mace, aidés d'ouvriers égyptiens, descellent le mur séparant l'antichambre, vidée, de la chambre sépulcrale et d'une pièce annexe, elle aussi regorgeant d'objets précieux.

PHOTOS : HARRY BURTON/ GRIFFITH INSTITUTE, UNIVERSITY OF OXFORD

17 FÉVRIER 1923 (suite)

Ayant pénétré dans la chambre funéraire (en présence de lord Carnarvon, sa fille Evelyn Herbert et quelques officiels), Howard Carter découvre à un mètre de la porte ce qui lui semble être un mur en or massif. Il s'agit des chapelles funéraires en bois couvertes de feuilles d'or, contenant les sarcophages de l'enfant-roi.

En novembre 1922, l'égyptologue britannique Howard Carter* pense effectuer son dernier automne dans la Vallée des Rois… *« Nous nous tenions presque prêts à aller tenter notre chance ailleurs, quand avec un coup de pioche, nous fîmes une découverte qui surpassait nos rêves les plus fous ! »* Le 4 novembre, il y a exactement 100 ans, l'explorateur qui travaille depuis déjà huit ans dans la célèbre vallée écrit : *« Lorsque j'arrivai sur le chantier, un silence inhabituel me fit comprendre que quelque chose venait de se passer. »* La première marche d'un escalier, qui allait le conduire à la plus extraordinaire découverte archéologique du XX^e^ siècle, venait d'être dégagée. Celle du tombeau d'un pharaon du Nouvel Empire (vers 1500-1000 avant J.-C.) mort à l'âge de 19 ans, vers 1327 avant notre ère, inhumé au milieu d'un trésor éblouissant d'objets précieux et de joyaux.

Une sépulture que le jeune Anglais ne pouvait même imaginer lorsqu'il est arrivé sur les rives du Nil à l'âge de 17 ans. Travailleur acharné, il commence pendant des années par retourner des milliers de tonnes de sable brûlant. Désireux d'avoir sa propre concession, il lorgne celle de l'Américain Theodore Davis dans la nécropole thébaine. Une concession dans la Vallée des Rois qu'il obtient en 1914 grâce au soutien de lord Carnarvon (George Herbert), son mécène. Theodore Davis, qui a écumé le secteur, est certain que « la Vallée » n'a plus rien à livrer… Mais Howard Carter est convaincu du contraire. Il a même pour but de retrouver la momie d'un dénommé Toutankhamon ! Hélas, la Première Guerre mondiale vient interrompre ses projets. Reprenant les fouilles en 1917, il décide de choisir comme point de départ un triangle peu exploré, formé par les tombes de Ramsès II, Mérenptah et Ramsès VI… Une intuition géniale ! C'est en effet en déblayant la base de cette dernière que, taillée dans

D'une beauté inégalée, constitué de 11 kg d'or pur incrusté de cornaline, de lapis-lazuli, d'amazonite, de quartz, d'obsidienne et de verre, ce masque haut de 54 cm est un portrait idéalisé du souverain.

P. UHLIR/AP/SIPA

MARS 1923

Identifier, répertorier, décrire et protéger tous les trésors du pharaon. Pendant des mois, Howard Carter et Arthur Callender vident l'antichambre avant de s'attaquer à la chambre sépulcrale que l'on devine derrière le mur descellé.

29 DÉCEMBRE 1923

Perché au-dessus de la première chapelle, Howard Carter travaille à l'intérieur de la chambre funéraire. Son démontage révèle l'existence de trois autres imposants coffres en bois plaqués d'or emboîtés. Recouvrant la chapelle, un dais piqueté de rosettes en or est enroulé autour d'un mât.

5 AVRIL 1923

Cinq mois après la découverte du tombeau, le mécène d'Howard Carter, lord Carnarvon, décède au Caire. Une piqûre de moustique, associée à une coupure de rasoir, a provoqué une septicémie mortelle. Le décès de plusieurs personnalités sera à l'origine de la légende de la « malédiction des pharaons ».

le roc, une marche apparaît. *« Je n'osais croire que nous avions enfin trouvé. »* L'escalier ainsi déblayé, le 5 novembre, à l'aplomb d'un rocher, apparaît une porte scellée. Des sceaux de la nécropole royale sont apposés sur le plâtre. Soupçonnant une importante trouvaille, Howard Carter décide d'attendre lord Carnarvon et lui fait parvenir un message : *« Merveilleuse découverte dans la Vallée. Tombe superbe avec sceaux intacts. Attends votre arrivée pour ouvrir. »* Le 5e comte de Carnarvon et sa fille, lady Evelyn Herbert, arrivent à Louxor. Le 24 novembre, l'examen de la porte permet d'identifier des sceaux au nom de Toutankhamon. Aucun doute, l'entrée de la sépulture tant recherchée a été trouvée ! *« Le 26 novembre devait être le plus beau jour de ma vie »*, déclare Howard Carter. À une dizaine de mètres, dans le coin d'une seconde porte scellée, l'égyptologue pratique une petite ouverture, puis place une bougie. Anxieux, lord Carnarvon et sa fille l'interrogent : *« Vous voyez quelque chose ? »* Carter est abasourdi. Devant lui, partout le scintillement de l'or. *« Je vois des merveilles,* répond-il. *Nous n'avions rêvé pareille chose : toute une salle remplie d'objets empilés les uns sur les autres avec une profusion apparemment inépuisable. »* L'antichambre vient d'être localisée. Au milieu des parfums de fleurs qui flottent encore dans l'air, des trônes en bois dorés, des lits à têtes d'animaux, des statues noir et or au regard d'obsidienne, des coffres incrustés, des chars aux roues dorées, partout entassés les uns contre les autres. Mais ni sarcophage, ni momie ! Lord Carnarvon et Howard Carter ne sont qu'au seuil de la découverte du siècle. Ils ignorent qu'il faudra des années pour libérer la totalité de la tombe baptisée KV 62 (King Valley 62) et sortir les 5398 objets qu'elle recèle…

Un sarcophage en quartzite renfermant trois cercueils

En novembre 1922, son invention est rendue publique. Les fouilles reprennent à la mi-décembre avec l'arrivée du photographe Harry Burton, qui immortalisera ce butin. Les premières œuvres quittent l'antichambre pour la tombe de Séthi II (KV 15), transformée en laboratoire. Le 17 février 1923, en présence de lord Carnarvon et d'Evelyn Herbert, une nouvelle porte scellée est démontée, débouchant sur un véritable mur en or ! *« Nous nous trouvions bien à l'entrée de la chambre du roi. Une des grandes chapelles dans lesquelles on déposait les rois (5 m par 3,30 m et 2,70 m de haut) remplit presque toute la pièce. Elle est recouverte d'or. »* À l'extrémité de la chambre se trouve

PHOTOS : HARRY BURTON/GRIFFITH INSTITUTE, UNIVERSITY OF OXFORD

1924

La tombe voisine de Séthi II est transformée en laboratoire pendant plusieurs années. Les milliers d'objets provenant de la sépulture de Toutankhamon y seront restaurés avant d'être envoyés au Caire.

18 OCTOBRE 1925

Mise au jour du 3e cercueil en or massif : le moment le plus important de toute l'exploration du tombeau. Sa décoration était dissimulée sous un linceul rougeâtre.

28 OCTOBRE 1925

La momie royale est dévoilée. *« Sous nos yeux, gisait une impressionnante momie nette et soignée, sur le corps de laquelle on avait répandu des onguents, noircis et durcis par le temps. »*

une autre pièce, l'annexe. *« Partout, des objets incrustés d'or et de pâte de verre. Je ne sais plus combien de temps nous restâmes à contempler ces merveilles,* raconte Howard Carter. *Lorsque, trois heures plus tard, nous sortîmes de la tombe, la vallée n'était plus la même. Elle venait de nous faire vivre un rêve. »* Hélas, le 5 avril 1923, lord Carnarvon meurt à la suite de l'infection d'une blessure. Mais sur le terrain, les travaux continuent. Dans l'hypogée, les chapelles en bois plaqué d'or livrent un sarcophage en quartzite. Ce n'est qu'en février 1924 que son couvercle en granit de 1 250 kg sera soulevé, exposant un premier cercueil en bois doré. Un an plus tard, ce sera un deuxième cercueil recouvert d'épaisses feuilles d'or incrustées de pâte de verre colorée *« imitant le jaspe rouge, le lapis-lazuli et la turquoise »*. Mais c'est le 18 octobre 1925 qu'a lieu le véritable moment d'émerveillement : *« Long de 1,85 m, le troisième cercueil est en or massif ! »* Toute la beauté de la découverte apparaît alors *« quand cette pièce unique et merveilleuse, masse fabuleuse d'or sculpté de 2,5 à 3 cm d'épaisseur, resplendit devant nous »*. La momie royale est dévoilée le 28 octobre 1925. Le 31 décembre, cercueils et masques d'or seront transportés au Caire. Le trésor constituera désormais le fleuron du nouveau Grand Musée égyptien (GEM). ■

Bernadette Arnaud

@NarudaaArnaud

31 DÉCEMBRE 1925

Transport des caisses contenant le trésor de Toutankhamon depuis la Vallée des Rois vers le musée du Caire. À partir du 8 janvier 1928, la tombe du pharaon est ouverte au public.

◄

* Toutes les citations d'Howard Carter sont tirées de son livre *La Fabuleuse Découverte de la tombe de Toutankhamon*, Libretto, 2019.

La France compte près de 70 000 points de charge. Une hausse de 50 % sur un an, mais un chiffre loin de l'objectif de 100 000 bornes fin... 2021!

Cinq questions pour comprendre les défis de la voiture électrique

Pour séduire à grande échelle, et donc avoir un impact sur l'environnement, l'électrique doit corriger ses faiblesses intrinsèques : autonomie, prix, vitesse de charge. Seule une rupture technologique le permettra.

Par Mathieu Chevalier, avec Agence Forum News

1 Peut-on améliorer les batteries ?

Prix, performances, autonomie… La batterie conditionne les caractéristiques d'une voiture électrique. Améliorer cet élément est essentiel, à commencer par la technologie actuelle. L'institut Fraunhofer IKTS allemand est parvenu à appliquer le principe bipolaire à la batterie lithium-ion. Les cellules sont superposées (et non plus alignées), ce qui permet de se passer des membranes et de loger plus de cellules dans moins d'espace, pour un poids inférieur. À plus long terme, l'objectif est de se passer du lithium, onéreux et disponible en quantité limitée. Des études universitaires s'intéressent au calcium, au magnésium ou au sodium pour le remplacer. L'université du Michigan (États-Unis), elle, travaille sur le lithium-soufre qui garantit la même performance après 1000 cycles de charge/décharge et offre une densité énergétique cinq fois supérieure. Dans la batterie dite solide, l'électrolyte liquide disparaît, d'où des gains en sécurité, densité énergétique, rapidité de recharge, taille et poids *(lire* S. et A. *n° 908)*. L'ultime étape sera peut-être la batterie quantique (et son principe de superabsorption : plus la batterie est grande, plus elle se charge vite) avec un « plein » en quelques minutes et une autonomie d'un million de kilomètres… en théorie!

2 Comment produire proprement et recycler les batteries ?

Pour faire de l'électrique une solution durable, il faut produire les batteries de façon propre et être capable de les recycler. Selon l'ICCT (International Council on Clean Transportation), la fabrication d'un véhicule électrique et de sa batterie émet 32 g équivalent CO_2/km (sur l'ensemble du cycle de vie), contre 26 g pour un thermique. Le recours à des énergies vertes dans le processus de production doit être généralisé. Les matériaux qui composent les batteries posent également question. L'extraction du lithium, du nickel, du graphite présente des risques de pollution et d'impacts néfastes sur les écosystèmes locaux. Les terres rares, nécessaires aux moteurs électriques, sont extraites principalement en Chine sans normes contraignantes. Côté recyclage, les entreprises spécialisées valorisent déjà plus de 70 % du poids d'une batterie (contre 50 % fixés par la loi). Une standardisation dans la conception des packs de batterie permettrait d'augmenter ce taux et d'automatiser le processus pour répondre aux futurs enjeux de volume.

3 Quelles sont les pistes pour faciliter la recharge ?

La recharge d'un véhicule électrique soulève aujourd'hui deux défis : le maillage des bornes et la vitesse de charge.

RENAULT

MA CARTE DE RECHARGE : PLUS BESOIN DE FAIRE 200 BORNES POUR EN TROUVER UNE.

Accédez à plus de 270000[1] points de charge partout en France et en Europe et suivez en temps réel leur disponibilité sur votre application.
En plus c'est sans abonnement[2] et sans engagement de durée.

Plus d'infos sur mobiliteverte.engie.fr

J'agis avec ENGIE

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

(1) Sur le réseau de points de charge disponibles (au 1er août 2022) et selon compatibilité avec le véhicule. Liste des points de charge accessible sur l'application mobile ENGIE Mobilité Verte. (2) Coût de la carte : 19€ TTC + coût de la recharge électrique selon le fournisseur d'énergie à la borne de recharge.

ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2435285011€ - RCS NANTERRE 542 107 651. © Getty Images.

Selon le baromètre Irve (infrastructure de recharge pour véhicule électrique) de l'association Avere, la France comptait 69 428 points de charge ouverts au public au 31 août. Une hausse de 50 % sur un an, mais un chiffre loin de l'objectif de 100 000 bornes fin… 2021 ! Heureusement, la majorité des recharges s'effectue à domicile. Mais le nombre de voitures électriques est amené à exploser avec des projections entre 15 et 20 % du parc roulant (38 millions) en 2030, selon le cabinet Ernst & Young. Il faudra suivre le rythme. La quantité est une chose, la vitesse de charge en est une autre. L'Avere indique que 35 % des points de charge ont une puissance inférieure à 7,4 kW et 56 % inférieure à 22 kW. Une Renault Mégane (60 kWh) demandera 10 heures de charge en 7,4 kW et plus de 4 heures en 22 kW. Les bornes ultra-rapides (350 kW) de Ionity et bientôt de Tesla se comptent sur les doigts de la main. Et encore faut-il que le véhicule accepte une telle puissance.

4 Quels sont les autres facteurs clés d'optimisation ?

Divers éléments peuvent améliorer les prestations d'une électrique. Le moteur en fait partie. Son rendement est excellent (90 % contre 40 % pour un thermique) mais il reste des pistes d'optimisation. Des chercheurs allemands ont mis au point un refroidissement intégré : plus besoin de carter réfrigérant extérieur, ce qui entraîne une baisse de la taille et du poids du moteur. Le poids est un point délicat car un pack de batterie pèse souvent entre 300 et 400 kg. Le recours à des matériaux de pointe comme l'aluminium ou la fibre de carbone offre des solutions. Selon les constructeurs, 200 à 300 kg pourraient être économisés, même si cela pose alors la question du coût. L'aérodynamisme est également déterminant pour gagner en autonomie. Carrosserie en goutte d'eau, rétros remplacés par des caméras, calandre et jantes pleines sont le secret d'un coefficient de pénétration dans l'air (C_x) bas.

AVIS D'EXPERT

LAURENS VAN DEN ACKER
DIRECTEUR DU DESIGN DE RENAULT GROUP

« Avec l'électrique, le design ira plus loin »

PIM HENDRIKSEN

Dessine-t-on une électrique comme une autre voiture ?
La voiture électrique a des exigences spécifiques. La recherche d'efficience énergétique passe par une optimisation de l'aérodynamisme et du poids. L'aérodynamisme impose des lignes fluides et des surfaces planes. C'est plus important pour les modèles routiers car cela joue un rôle décisif à partir de 70 km/h. Une bonne autonomie passe aussi par l'allégement du véhicule et le choix de matériaux spécifiques, comme l'aluminium. La batterie située dans le plancher influe sur la hauteur du véhicule, qui est compensée visuellement par de grandes roues. Mais elles sont aussi étroites pour soigner l'aérodynamisme et le poids.

Doit-elle être radicalement différente ?
Le choix de l'électrique est souvent une conviction de l'acheteur : il veut donc que ça se voie ! Le modèle doit alors avoir un style futuriste, qui pourrait presque s'apparenter à un concept-car. Certains modèles sont à la fois thermiques et électriques : leur style est moins engagé. Globalement, le design peut aller plus loin sur une électrique, jusqu'à faire renaître des modèles iconiques du passé en les réinterprétant.

Comment la structure technique joue-t-elle sur l'habitacle ?
Le moteur électrique est plus compact, ce qui permet d'étirer l'empattement. On va ainsi pouvoir gagner en espace pour les passagers, en particulier à l'arrière et dans le coffre. Mais il sera plus difficile de ménager une garde au toit importante car la batterie est dans l'épaisseur du plancher. ■ **Propos recueillis par M. C.**

5 Le prix des voitures électriques va-t-il baisser ?

L'électrique n'aura un réel impact sur la baisse des émissions que si elle est diffusée à grande échelle. Pour cela, il faut qu'elle soit accessible financièrement. Or, aujourd'hui, un véhicule électrique est synonyme d'un surcoût d'environ 40 % avant les aides (et autour de 20 % en moyenne en en tenant compte). La batterie pèse lourd sur la facture même si l'augmentation des volumes et la rationalisation des chaînes d'approvisionnement ont fait chuter ce coût. Son prix est ainsi passé de 500 euros/kWh en 2013 à 110 euros/kWh en 2021, selon la société de recherche BloombergNEF (pour une citadine de 50 kWh, cela signifie une chute de 25 000 euros à 5500 euros). Pour autant, il est difficile de parier sur la pérennité de cette baisse. L'effet croisé de l'instabilité géopolitique internationale, de la hausse de la demande et des tensions sur l'offre (en particulier de lithium) risquent de soutenir les prix. Même constatation pour les tarifs de l'électricité qui, bien que régulés pour le moment, menacent de sérieusement compliquer à l'avenir le modèle économique de la voiture électrique… ■

Écoutez

CEUX QUI AIMENT DÉCRYPTER L'ACTU

DIMITRI PAVLENKO

7H - 9H

EUROPE MATIN

Europe 1

CapaPictures / Europe 1

LE 25 NOVEMBRE 2022 À 9H30

SIÈGE DE LA RÉGION GRAND EST

1 Place Adrien Zeller,
67000 Strasbourg

ET EN DIGITAL

1ÈRE ÉDITION

SANTÉ GLOBALE

LE NOUVEAU DÉFI

Partenaire institutionnel

La Région Grand Est

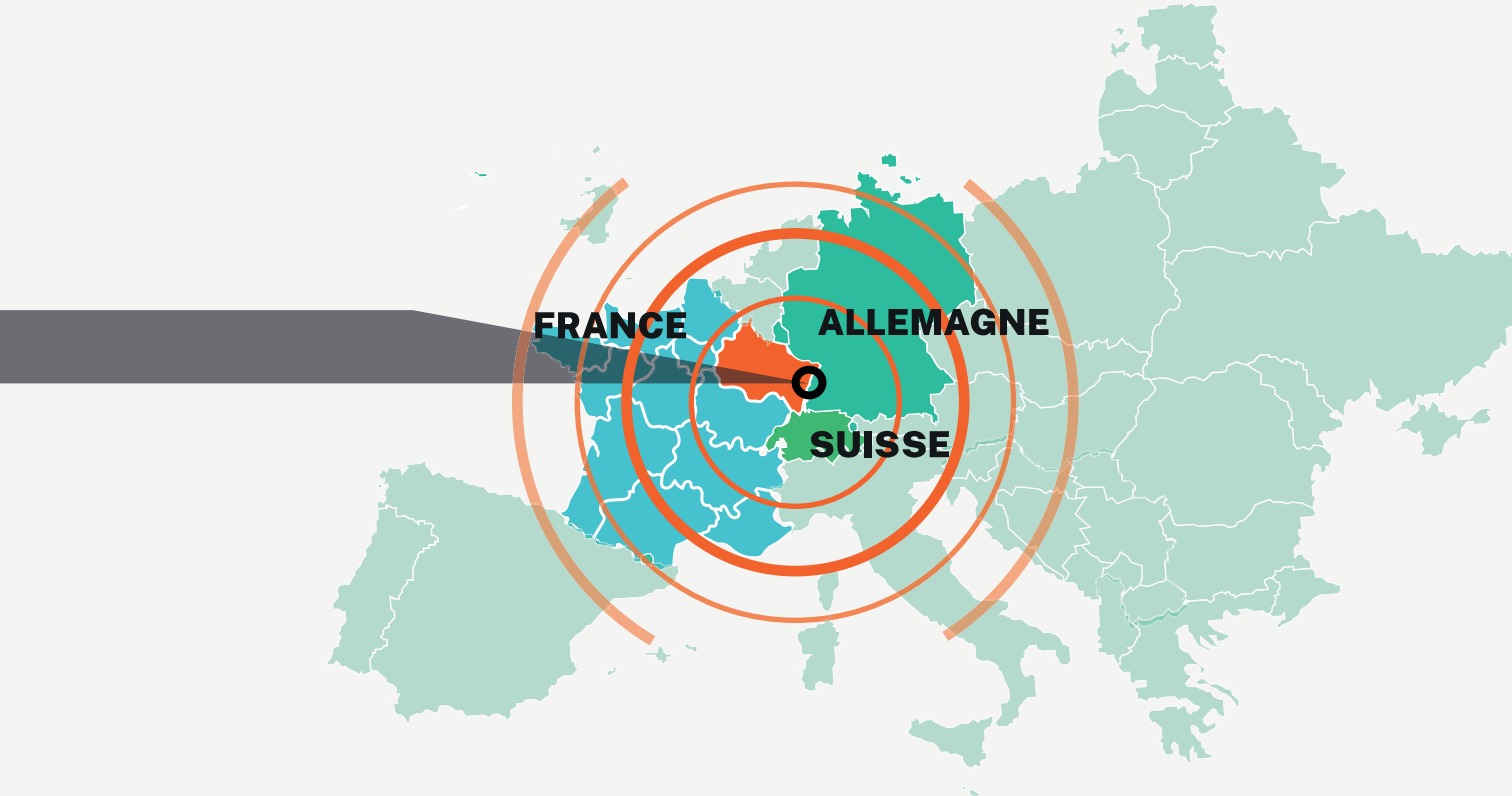
Sous le patronage de

Commission européenne

Partenaire

SFA GROUP
Agitateur d'eau

LES RENCONTRES DU GRAND EST



Pour plus d'information :

lesrencontressanteglobale.fr

Organisé par

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

Avec

Challenges
L'économie de demain est l'affaire de tous

Coordonné par

Evidence Santé
Conseil et Communication

TRANSVERSALES

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 98

▶ C'est à voir
p. 100

▶ Le ciel du mois
p. 101

▶ Chroniques
p. 102

▶ Questions de lecteurs
p. 104

▶ Solutions des jeux
p. 105

▶ Jeux
p. 106

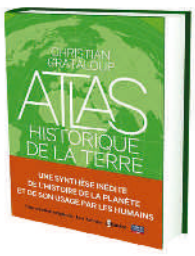
ROYAL GEOGRAPHICAL SOCIETY / BRIDGEMAN IMAGES

Carte du monde montrant l'étendue de l'empire britannique en 1886.

Kaléidoscope de notre planète

L'« Atlas historique de la Terre » retrace les grandes étapes de la formation du globe en mêlant habilement géologie, géographie et histoire humaine.

PANORAMA La forme de l'atlas est toujours évocatrice et on s'émerveille facilement en feuilletant ces pages qui dressent un panorama de l'histoire de notre planète. Une histoire mouvementée, scandée par la géologie, la tectonique des plaques, le climat, la géographie, les événements violents, qu'ils soient terrestres ou cosmiques. Scandée aussi par l'apparition de la vie, des sociétés humaines et de leur exploitation du globe, qui ont contribué à façonner notre planète. La forme se veut encyclopédique, de l'apparition de la Terre à l'énergie nucléaire. Pourtant, le parti pris mêlant cartographie et infographie sur des doubles pages rend la lecture attractive. Une réussite qui doit beaucoup à l'auteur, le géographe Christian Grataloup, mais aussi à l'équipe d'éditeurs et de cartographes qui ont contribué à la réalisation, dont *Sciences et Avenir-La Recherche*.



Le découpage chronologique fait ressortir les enchevêtrements entre les neuf périodes choisies pour structurer l'atlas : du Big Bang à la planète Terre, du noyau à la stratosphère, une planète de la vie, l'animal humain, les domestications, la grande période agricole, la mondialisation des ressources, l'ère du carbone fossile, la planète saturée. Il y a un début, mais pas de fin ! « *Pas d'évocation d'une humanité mue par un progrès continu, ni un monde aveugle courant à sa perte, mais des dossiers pour comprendre les dynamiques retracées dans leur longue temporalité* », explique Christian Grataloup dans l'introduction. Un kaléidoscope de la planète des humains réalisé avec l'appui de scientifiques de toutes disciplines qui ont permis de créer cette somme accessible et très à jour des connaissances. ■ **Mathieu Nowak**

Atlas historique de la Terre, Christian Grataloup, Les Arènes-L'Histoire-*Sciences et Avenir-La Recherche*, 340 p., 19,90 €

Une nécessaire adaptation

ENQUÊTE *Vitis vinifera* est déjà affectée par la hausse des températures, bousculant

les dates des vendanges et les habitudes des vignerons. Le journaliste Yves Leers rassemble tous les éléments d'une enquête au long cours mêlant les techniques de taille des vignes à l'inventivité des vinificateurs, en passant par la recherche de cépages anciens. Témoignages de viticulteurs, rappels des traditions ancrées dans les terroirs, investigations dans les laboratoires de recherche, l'ouvrage est le plus complet sur la question à ce jour. ■ **L. C.**

Vin : le grand bouleversement, Yves Leers, Buchet Chastel, 272 p., 19,90€

Pionnier de l'optogénétique

ÉMOTIONS Karl Deisseroth est professeur de bio-ingénierie, de psychiatrie et de sciences du comportement à l'université Stanford (États-Unis) et aussi psychiatre. Dans ce livre, il retrace ses deux parcours,

montrant comment les rencontres avec les malades ont favorisé ses réflexions. Il explique la technique de l'optogénétique, dont il est l'un des pionniers, qui permet d'activer des neurones avec un signal lumineux et d'identifier, sur des modèles animaux, leur implication dans des émotions ou des maladies. Une lecture passionnante sur les neurosciences, ponctuée de réflexions sur l'éthique. ■ **M. G.**

Les Fils tressés de nos sentiments, Karl Deisseroth, Dunod, 232 p., 21,90 €

La maternité vue par les neurosciences

DÉCODAGE *« Devenir mère, c'est que du bonheur »*, entend-on souvent à l'arrivée du bébé. Et pourtant, la réalité de la maternité est plutôt décrite par ces femmes comme

un tourbillon d'émotions positives et négatives, que les neurosciences tentent de décoder. Dans ce livre, deux psychiatres font le bilan des dernières découvertes sur les changements que vit le cerveau maternel, de la grossesse aux premières années de l'enfant. Ils abordent également des sujets encore peu étudiés tels le déni de grossesse ou la dépression du post-partum. ■ **L. L.**

Dans le cerveau des mamans, Hugo Bottemanne et Lucy Joly, Éd. du Rocher, 312 p., 20,90 €

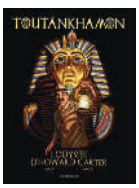
L'histoire des sciences modernes revisitée

ÉCHANGES L'astronome polonais Nicolas Copernic (1473-1543) est passé à la postérité pour sa démonstration de l'héliocentrisme. Mais saviez-vous que cette découverte, loin d'être le fait d'un génie isolé, est en réalité fondée *« sur des idées en provenance de sources arabe, persane, latine, grecque et byzantine »*? Digne d'un récit d'aventure, le livre de James Poskett revisite l'histoire des sciences modernes afin de démonter le mythe selon lequel son développement est uniquement l'œuvre de l'Occident. L'idée n'est pas nouvelle, mais le jeune historien en fait une démonstration rafraîchissante. Puisant dans une foultitude de sources, il nous embarque au cœur des mondes aztèque, inca, indien, chinois, japonais, africain, etc., faisant émerger des savants et des découvertes injustement méconnus dans tous les domaines de la connaissance, et mettant en relief l'importance des échanges culturels sous toutes leurs formes dans la construction de la science moderne. Captivant. ■ **Vincent Glavieux**

Copernic et Newton n'étaient pas seuls, James Poskett, Seuil, 512 p., 25 €

La saga Howard Carter

BD Son obsession était un tombeau. Et il aurait payé de sa poche pour mener à bout des fouilles légendaires dans la Vallée des Rois. Howard Carter aura fini par découvrir, il y a cent ans, la grandiose sépulture de Toutankhamon *(lire aussi p. 88),* comme le raconte cette BD haletante. Les amateurs d'égyptologie apprécieront



le socle historique du scénario et la richesse de détails des planches très réalistes qui restituent pas à pas l'aventure de l'explorateur britannique au caractère bien trempé, ainsi que la splendeur du trésor mis au jour. Avec, affiché en pleine page à la fin, l'énigmatique et célèbre masque funéraire. ■ **A. De B.**

Toutankhamon : l'odyssée d'Howard Carter, Patrick Marcel et Paul Mallet, Les Arènes BD, 110 p., 22 €

Folie atomique

COMPROMISSION Quiconque se demande ce qui fait un bon scientifique doit plonger dans le passionnant récit d'Harry Bernas. La conscience de ce grand physicien est percutée par la bombe atomique en 1945, alors qu'il n'est qu'un enfant juif immigré aux États-Unis. Il raconte ici l'évolution de la physique à partir de ce bouleversement, en parcourant aussi sa propre histoire. Son analyse du chemin qui a mené la science à nouer un lien délétère avec la politique, la recherche militaire et les technologies de pointe, en renonçant au *« chercher pour comprendre d'abord »*, est exemplaire. Le glissement rapide du nucléaire militaire vers ses applications civiles a conduit à négliger la sûreté. Le déni et la cécité volontaire de scientifiques désormais au service de l'ingénierie menacent le monde. L'accident de Fukushima en est un exemple édifiant : jamais on n'aurait dû y construire de centrale nucléaire et le tsunami de 2011 aurait pu être évité. On savait et on n'a rien fait… ■

Andreina De Bei

L'Île au bonheur. Hommes, atomes et cécité volontaire, Harry Bernas, Le Pommier, 327 p., 24 €

EXPOSITIONS

Auxerre (89)

Histoires de loups
Reprise d'une exposition présentée à Elbeuf en 2021, ce parcours aborde autant les mythes que les faits scientifiques autour de *Canis lupus*. Diabolisé au Moyen Âge en France, le loup a, en d'autres lieux, été accepté sans problème.
(Lire notre article : sciav.fr/909loup)
Muséum, 5, boulevard Vauban, jusqu'au 30 décembre.
Rens. : 03.86.72.96.40.

Lens (62)

Champollion, la voie des hiéroglyphes
Le Louvre-Lens célèbre ses dix ans avec l'anniversaire du déchiffrement des hiéroglyphes. Le parcours aborde les divers usages de ce système d'écriture (religieux, administratif, funéraire…) comme l'histoire de Champollion lui-même.
Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 16 janvier 2023. Rens. : 03.21.18.62.62.

Montbéliard (25)

Pasteur, au service de la science
Pour les 200 ans de la naissance du créateur du vaccin contre la rage, cette exposition met en avant ses travaux moins connus. Chimiste de formation, Louis Pasteur a posé les bases de la microbiologie, et a travaillé sur le vin ou les vers à soie.
Pavillon des sciences, 5, impasse de la Presqu'île, jusqu'au 5 mars 2023. Rens. : 03.81.91.46.83.

Paris (75)

Permis de conduire ?
Dans le cadre d'une saison culturelle consacrée à l'histoire des transports, l'automobile est à l'honneur, avec la part belle faite aux innovations associées (motorisation, sécurité, aide à la conduite), jusqu'aux fantasmes de voitures volantes…
Musée des Arts et Métiers, 60, rue Réaumur, jusqu'au 7 mai 2023. Rens. : 01.53.01.82.63.

Mini-monstres
Conçue pour les 7-12 ans par le musée des Confluences de Lyon, cette exposition joue sur la fascination/aversion suscitée par les puces, poux, moustiques, tiques, mouches, punaises de lit et acariens.
Muséum national d'histoire naturelle, galerie de géologie et de minéralogie, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, jusqu'au 23 avril 2023. Rens. : 01.40.79.30.00.

Toulouse (31)

Momies, corps préservés, corps éternels
Le muséum prend soin d'élargir la thématique des momies au-delà de l'égyptologie. Appliquée aux humains ou aux animaux, dans le monde entier, parfois par un processus naturel, la momification est ici un sujet aussi archéologique qu'anthropologique, biologique ou sociologique.
Muséum, 35 allées Jules-Guesde, jusqu'au 2 juillet. Rens. : 05.67.73.84.84.

Verdun (55)

Art/Enfer, créer à Verdun 1914-1918
Des peintres, des sculpteurs, des musiciens, des écrivains ont créé au cœur des combats. Ces 200 œuvres d'artistes reconnus (parfois missionnés) ou amateurs témoignent de ce qu'a été le front à Verdun.
Mémorial de Verdun, 1, avenue du Corps européen, Fleury-devant-Douaumont, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 03.29.88.19.16.

PETIT PALAIS-MUSÉE DES BEAUX-ARTS DE LA VILLE DE PARIS - ARCHIVES NATIONALES

« V'la l'choléra qu'arrive », dessin de Théophile Steinlen (avant 1889). **Affiche** de prévention du Centre national d'éducation sanitaire et sociale, 1963 (en haut à droite).

Paris (75) / Exposition

Partenariat Sciences Avenir La Recherche

Face aux épidémies, de la peste noire à nos jours

Le thème de l'épidémie aux Archives nationales ? Oui, car l'approche n'est pas tant médicale qu'historique. De la peste noire du XIVe siècle au sida en passant par le choléra ou la grippe, le parcours montre comment la société, les populations, les gouvernants ont réagi, quelles décisions ont été prises, quels messages sont passés. Quels boucs émissaires ont été désignés aussi. Registres de notaire, tableaux, parchemins, publicités, affiches des pouvoirs publics, tout raconte des événements qui résonnent de manière souvent troublante avec la crise du Covid-19, évoquée en fin d'exposition. On voit ainsi le poids du religieux s'amenuiser, des politiques publiques se mettre en place, la vaccination apparaître, les démarches hygiénistes s'imposer jusqu'à la globalisation de la prise en compte des maladies, avec la création de l'Organisation mondiale de la santé en 1948. Car avec le développement des transports, les maladies sortent de leur foyer local pour mieux se répandre. De même que les moyens de lutter contre elles. ■ **Arnaud Devillard**

Archives nationales, 60, rue des Francs-Bourgeois, jusqu'au 6 février 2023. Rens. : 01.75.47.20.02.

PARTENARIAT

Sciences Avenir La Recherche

Bordeaux (33)

Destination Cosmos, l'ultime défi
Cette création immersive arrive à Bordeaux, après avoir investi l'Atelier des Lumières, à Paris, et les Carrières des Lumières, aux Baux-de-Provence. Élaborée avec le Centre national d'études spatiales, elle évoque l'histoire de l'observatoire des étoiles.
Bassins des Lumières, impasse Brown-de-Colstoun, jusqu'au 19 novembre.
Réservation : sciav.fr/909cosmos

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide

LE CIEL DE NOVEMBRE

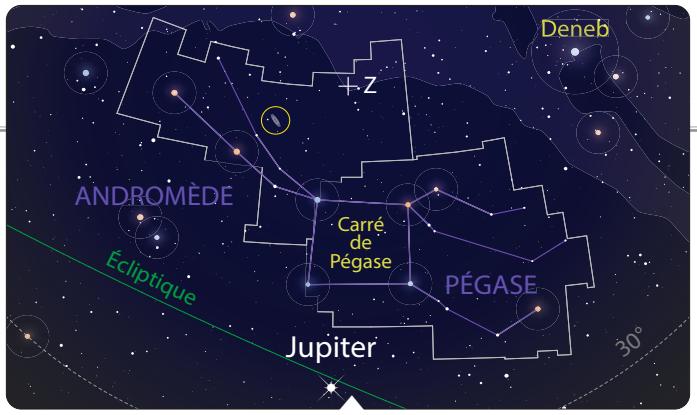
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète sera en conjonction supérieure avec le Soleil le 8. Elle n'est pas visible ce mois.

VÉNUS L'étoile du Berger est passée en conjonction supérieure le mois dernier. Comme Mercure, elle n'est pas observable en novembre.

MARS La planète Rouge se lève en soirée vers le nord-est. À un mois de son opposition, elle se trouve déjà dans de très bonnes conditions d'observation, visible jusqu'au petit matin. Au cœur de la nuit, elle trône plein sud à une bonne soixantaine de degrés de hauteur. Mars est aisément repérable à sa luminosité désormais équivalente à celle de Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel nocturne, et à son éclat couleur caramel.



Vers 21 h, les constellations de Pégase et d'Andromède dominent l'horizon sud et s'étendent, dans le cas d'Andromède, jusqu'au zénith (Z). Jupiter constitue une aide précieuse pour leur localisation.

Pégase et Andromède, symboles automnaux

LES DEUX CONSTELLATIONS ANCIENNES PÉGASE ET ANDROMÈDE SONT, EN CETTE SAISON, VISIBLES une grande partie de la nuit sous nos latitudes. Partagées entre ces deux constellations, quatre étoiles relativement brillantes forment la figure la plus remarquable des ciels d'automne : le carré de Pégase. Le cercle jaune définit la position de la célèbre galaxie d'Andromède, décelable à l'œil nu sous un ciel pur.

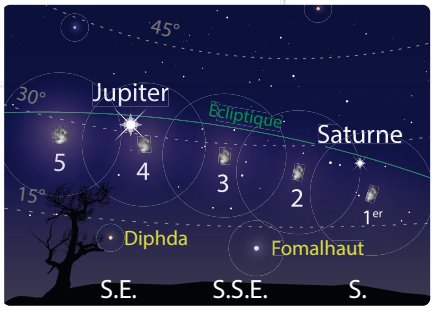
Notre conseil Commencez par repérer le phare qu'est la planète Jupiter. Le carré de Pégase n'en est actuellement qu'à une vingtaine de degrés au nord.

JUPITER Située vers le sud-est à la tombée du jour, la planète géante est le premier astre que l'on voit « s'allumer » au-dessus de nos têtes. Elle culmine à mi-hauteur vers le sud en milieu de soirée et son éclat est très intense. Jupiter se couche en seconde moitié de nuit.

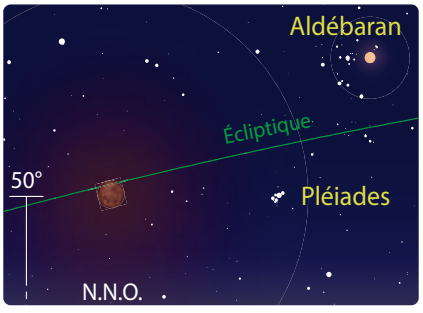
SATURNE La planète aux anneaux se situe à une quarantaine de degrés à l'ouest de Jupiter. Beaucoup moins brillante que sa cousine, elle est observable en première partie de nuit.

L'appli du mois

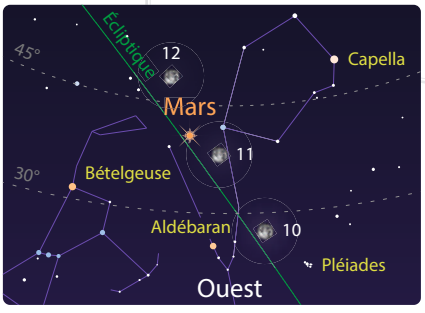
MISSION TO MARS AR est une application gratuite en anglais pour Android et iOS. Elle donne vie à Mars et aux missions qui se sont succédé à sa surface et en orbite. De la phase d'atterrissage de Spirit au vol de l'hélicoptère Ingenuity, vous explorerez la planète Rouge grâce à la réalité augmentée.



DU 1ER AU 5, LA LUNE EST EN PHASE GIBBEUSE CROISSANTE. Elle passera à moins de 6° de la planète Saturne le 1er et à 3,5° de Jupiter le 4. La scène est représentée 2 h après le coucher du Soleil.



LA NUIT DU 7 AU 8, UNE TRÈS BELLE ÉCLIPSE TOTALE DE LUNE SERA VISIBLE par les habitants de la Nouvelle-Calédonie et de la Polynésie française.



LE 11, TROIS JOURS APRÈS SON PASSAGE en phase de Pleine Lune, notre satellite sera à 5° de la planète Mars. Nous sommes 1 h avant le lever du Soleil, tournés vers l'ouest.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de novembre

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

CLIMAT PAR CHRISTOPHE CASSOU ET CÉLINE GUIVARCH

S'acculturer aux enjeux écologiques

Les chantiers de formation aux enjeux climatiques et de biodiversité s'ouvrent partout. La sévérité des impacts de cet été en accélère la dynamique. Comprendre et prendre la mesure de l'urgence à agir sont présentés comme des nécessités pour engager des actions d'adaptation à un climat qui change vite, et des actions de transformation de nos infrastructures et modes de vie vers une société bas carbone plus résiliente. Devenir acteur et actrice de ces transformations majeures en conscience et en connaissance, tel est l'objectif visé. Il se décline à tous les niveaux de prise de décision (État, collectivités, entreprises, etc.), mais aussi dans les médias et pour l'engagement des citoyens, avec des enjeux d'éducation pour les plus jeunes. Attention cependant à ce que cette effervescence de formations ne soit pas un « cache-misère » pour donner l'impression d'agir maintenant, alors que les mesures concrètes sont repoussées à plus tard. Une attention spéciale doit aussi être portée aux contenus de ces formations qui, au-delà de la prise de conscience de l'ampleur des enjeux, doivent également permettre d'appréhender leurs dimensions sociales, de questionner notre relation aux vivants et aux communs, nos systèmes de valeurs et de prises de décision dans les dynamiques de transformations. Ainsi, attention à ne pas évacuer l'aspect éminemment politique des décisions. Mais, au moins, si des choix « climaticides » sont pris, personne ne pourra dire qu'il ne savait pas. ■

Directrice de recherche au CNRS, Institut de recherche en informatique fondamentale (CNRS/université Paris Cité).

CLAIRE MATHIEU

MATHÉMATIQUES PAR CLAIRE MATHIEU

Quand les chercheurs s'expriment

Quand nous autres chercheurs prenons la parole dans l'espace public, il y a deux risques : soit excéder notre rôle avec des affirmations dont la crédibilité repose sur nos connaissances scientifiques, alors qu'il ne s'agit pas de notre domaine de compétence ; soit refuser de nous engager sur toute question autre que celle de notre sujet de recherche. Pourtant, nos connaissances débordent largement de ce cadre. Ainsi, on peut faire de la recherche sur les algorithmes d'approximation, mais aussi bien connaître la conception et l'analyse d'algorithmes ; et plus généralement, posséder une base scientifique solide à partir de laquelle appréhender les questions de sciences. Quelle valeur mon opinion a-t-elle alors ? Selon que je m'exprime en tant que spécialiste de la question, du domaine, de la discipline, ou en tant que scientifique, ou simple citoyenne, ma parole a plus ou moins de poids. Et le silence est une option coûteuse puisque l'espace de discussion est alors occupé par d'autres, qui risqueraient de propager des idées fausses sans rencontrer d'opposition solidement enracinée dans un savoir technique. Une possibilité pour éviter ces écueils serait de faire reposer son discours sur des références au niveau approprié : articles quand on parle de son domaine, livres pour parler de sa discipline, ouvrages grand public autrement. Cela permettrait de s'exprimer en public tout en restant dans le registre approprié. ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

Des jetons non fongibles (NFT)… à la fonte des glaciers

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *Servitudes virtuelles*, Seuil, 2022.

BRUNO LÉVY

Le numérique réduit textes, images, vidéos, sons, voire sensations kinesthésiques à des séquences de « 0 » et de « 1 » que l'on reproduit et transporte à loisir sur toute la planète à un coût quasiment nul. Tout objet numérique se duplique sans douleur ; il est « fongible », au sens juridique du terme, en cela qu'il est remplaçable par une réplique en tout point équivalente. Dès lors, la notion d'exemplaire séminal, à partir duquel les autres ont été repris, se perd. Et le prix qu'on y attache aussi. Pour restituer le propre d'un objet numérique, ce qui fait sa singularité, deux artistes, Jennifer et Kevin McCoy, et un entrepreneur, Anil Dash, eurent en 2014 l'idée d'y adjoindre un jeton cryptographique unique, enregistré dans un registre public à l'aide d'une chaîne de blocs (*blockchain* en anglais) pour en garantir l'authenticité, l'intégrité et la propriété ; c'est ce que l'on appelle un jeton non fongible, abrégé en JNF, ou en NFT pour *Non-Fungible Token* en anglais. Le propriétaire peut le vendre contre des cryptomonnaies ; le JNF trace ces transactions et mentionne l'identité du nouveau possesseur. Sur le plan conceptuel, l'idée séduit. Le marché des JNF s'est envolé en 2020, jusqu'à atteindre plus de 250 millions de dollars, avant de connaître un net repli fin 2021. Au-delà de leur caractère éminemment spéculatif, et donc volatil, les JNF tout comme les cryptomonnaies reposent sur les chaînes de blocs. Plutôt que de faire appel à des tiers de confiance, celles-ci recourent à des techniques cryptographiques fondées sur la notion de « preuve de travail » qui exige des calculs informatiques vertigineux, aux effets délétères pour le climat. Pour en donner une idée, songeons que l'empreinte carbone laissée par l'Ethereum, cryptomonnaie utilisée par les JNF, est équivalente à celle de la Finlande ; et celle du bitcoin à celle de la Grèce.
Bref, si les JNF établissent bien le propre des objets numériques en en garantissant la propriété, tant qu'elles recourent à la « preuve de travail », l'énergie dépensée pour asseoir cette garantie est bien sale ! ■

L'ŒIL DE LASCAR

Y aura-t-il du chauffage cet hiver ? Grande est la crainte d'une pénurie énergétique dans les mois qui viennent. Il y a bien sûr le contexte de la guerre en Ukraine et la fin des livraisons de gaz russe. Mais l'été caniculaire a aussi asséché les réserves des barrages hydroélectriques, dont l'eau actionne les turbines des centrales électriques. Ajoutez à cela un parc nucléaire français dont 30 réacteurs, sur 56, sont à l'arrêt, et l'ensemble concourt à un marché sous tension. D'où l'appel à la sobriété énergétique des patrons de Réseau de transport d'électricité (RTE) et GRT-Gaz. Seront-ils entendus ? **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

BIOLOGIE

L'être humain évolue-t-il toujours ?

Toni L.

Oui, les humains continuent bel et bien d'évoluer. Pour que cela s'arrête, il faudrait que notre génome ne soit plus affecté par aucune mutation, que notre environnement soit parfaitement stable et qu'il n'y ait plus de compétition entre les individus. À l'inverse, l'augmentation de la population mondiale constitue un terrain propice à l'évolution de notre espèce. La sélection naturelle y a bien plus de prise que dans les sociétés préhistoriques limitées. La génétique a permis de montrer que nombre de caractéristiques physiques sont très récentes. C'est le cas, par exemple, de l'épaisse chevelure noire et lisse des habitants d'Asie orientale, imputable à un variant génétique apparu il y a moins de 30 000 ans. ■ **L. L.**

NEUROLOGIE

La pollution de l'air affecte-t-elle le cerveau ?

Marjorie S.

Nocive pour le cœur ou les poumons, la pollution atmosphérique pourrait aussi accélérer le déclin cognitif, un des signes avant-coureurs de maladies neurodégénératives telle Alzheimer. Elle affecterait également les performances cognitives, selon une étude française publiée en mars. Ainsi, l'exposition aux particules fines de diamètre inférieur à 2,5 micromètres (PM 2,5) et au dioxyde d'azote (NO_2) serait associée à un plus bas niveau de performances dans trois grands domaines cognitifs : la mémoire, la fluidité orale et la capacité à prendre des décisions. ■

Anne-Sophie Tassart @TassartAS

HEMIS.FR

Une seconde intercalaire peut être enlevée ou ajoutée lorsque le temps mesuré par les horloges atomiques et celui donné par la rotation de la Terre diffèrent.

MÉTROLOGIE

Les horloges prennent-elles en compte les variations de vitesse de la Terre ?

Paul O.

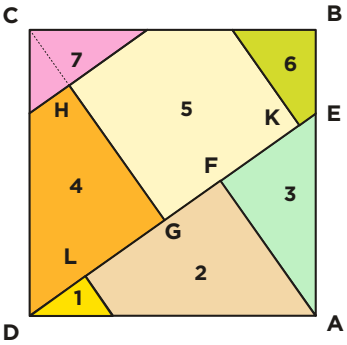
Une journée sur Terre correspond à 24 heures, soit 86 400 secondes. En théorie, car en réalité, on enregistre des petites variations de quelques millisecondes de plus ou de moins. Elles sont liées à plusieurs perturbations : les mouvements des océans, de l'atmosphère, l'attraction de la Lune dont la distance à la Terre varie, ou encore l'influence du noyau interne. Pourtant, ces perturbations ne sont pas comptées par les 200 horloges atomiques qui donnent le temps universel coordonné (UTC) et qui sont très stables. Ainsi, un décalage entre l'UTC et le temps donné par la rotation de la Terre peut se produire si les perturbations sont trop importantes. Lorsque la différence entre le temps mesuré par les horloges atomiques et celui de la rotation de la Terre diffère de plus de 0,9 seconde, le Service international de la rotation terrestre et des systèmes de référence ajoute ou enlève ce que l'on nomme une « seconde intercalaire » au 30 juin ou au 31 décembre à minuit. C'est arrivé pour la dernière fois le 31 décembre 2016, jour pour lequel nous avons pu lire sur les cadrans *« 23 heures 59 minutes et 60 secondes »*. Depuis 1972, année de la première seconde intercalaire, 27 secondes ont ainsi été ajoutées, car la rotation de la Terre s'est ralentie. Pourtant, en 2020, 2021 et 2022, elle a accéléré. Le 29 juin dernier, notre planète a même établi un nouveau record de vitesse de rotation : 24 heures moins 1,59 milliseconde. Sans correction pour le moment, mais la prochaine pourrait être non pas un ajout, mais un retrait d'une seconde. ■

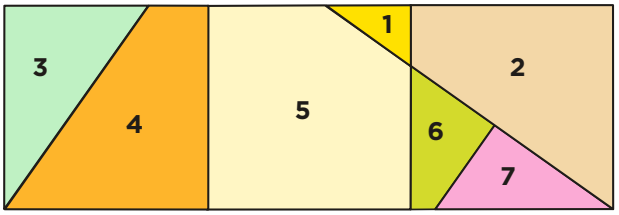
Lise Loumé @Lise_Loume

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 908, octobre 2022

Quelle dissection ?

Les sept parties du carré permettent de reconstituer trois carrés identiques.





Le rouge et le vert

1 2 3 4 5 6 7 8
1 4 5 6 7 8 2 3
1 5 6 4 7 8 2 3
1 5 6 4 8 2 7 3
6 4 8 2 7 1 5 3

6 4 8 2 7 1 5 3

Logique de menu

Sur les autres lignes, le prix est le nombre de lettres du dernier mot, donc ici 8.

Rébus

AR à gauche
ERIL à droite
URE par-dessus TOU
« Arago chérit la droiture par-dessus tout. »

Une suite de triplets

Il manque VGY car il s'agit d'une partie du clavier classique AZERTY ou QWERTY lu en diagonale par groupes de trois touches de bas en haut :
XDR - CFT - VGY - BHU - NJI

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 900
Gravitation : la théorie qui dépasse Einstein

N° 901
Le nucléaire peut-il être propre ?

N° 902 Quantique, la révolution du XXIe siècle

N° 903
Les arbres, gardiens de la Terre

N° 904 Les aliments qui augmentent l'espérance de vie

N° 905/906
Pourquoi ?
Dossier spécial

N° 907
Messages de l'univers lointain

N° 908 7 traitements qui révolutionnent la médecine

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 900 ❑ N° 901 ❑ N° 902 ❑ N° 903
❑ N° 904 ❑ N° 905/906 ❑ N° 907 ❑ N° 908

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

L'intrus dans l'alphabet

Dans cette collection logique de mots s'est glissé un intrus. Lequel ?

BOLET
CHLORE
CULOTTE
FURAX
SAPIN
GLISSE
OPÉRA

Carré géodésique

Trouvez l'altitude de chaque case, de 1 à 8.

- Dans chaque ligne et chaque colonne, les altitudes sont toutes différentes.
- Les cases bleues (creux) sont d'altitude moindre que toutes leurs cases voisines, droite, gauche, haut et bas.
- Les cases rouges (pics) ont une altitude supérieure à leurs voisines, droite, gauche, haut et bas. Les voisinages en diagonale ne comptent pas.
- Les cases blanches voisinent avec les plus hautes ou les plus basses.

	2				7		
		5					
6					3		
		6					
							7
5				7			
			3				

Quadrature magique

Complétez ce carré magique pour qu'il contienne tous les nombres de 1 à 16 et que chaque ligne, chaque colonne et chacune des diagonales totalisent 34.

	8		10	34
	13		3	34
14		4		34
7		9		34
34	34	34	34	34	34

Carré illogique

La logique qui devrait présider à ce carré a été perturbée. Quelles sont les deux lettres à intervertir pour retrouver la perfection ?

D	C	B	A
A	B	A	D
B	D	C	C
C	D	A	B

Logique d'héritage

Grand-père a trois filles, Anastasie, Belle et Céline, et six petits enfants, Frédéric, Grégoire, Hector, Jean, Laure et Marie. Il prépare un partage pour ses petits-enfants qu'il veut équitable mais ne sait plus combien d'enfants a chacune de ses filles.

Il a pourtant noté que :

- Belle a la famille la plus nombreuse.
- Anastasie n'a pas de fille.
- Marie a 2 frères.
- Le frère d'Hector a 6 mois de moins que Grégoire.
- Laure n'a ni frère ni sœur.

Combien chacune des filles a-t-elle d'enfants ?

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes lourdes
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~11,80€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3).*

5€ 45 gélules ~~12,00€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~12,80€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~13,80€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~16,30€~~

Ballonnement
CHARBON & FENOUIL BIO

Soulage rapidement en cas de **ballonnement** et **flatulences**. *(1), (10).*

5€ 45 gélules ~~13,00€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~12,10€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**. *(6), (8).*
*Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~12,00€~~

Cholestérol
AIL NOIR BIO

Il aide au maintien d'un **taux normal de cholestérol** et possède un **effet cardioprotecteur**. *(7).*

6€ 30 gélules ~~12,10€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~17,40€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~13,10€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~15,10€~~ *(2), (9).*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~17,40€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (4), (7).*

6€ 45 gélules ~~12,30€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations. **Gardez le plaisir de bouger !**

5€ 45 gélules ~~11,90€~~

Bonne vision
SPIRULINE BIO

Préservez votre vision grâce à la **Vitamine A** issue du **Bêta-carotène** de la Spiruline. *(1), (9).*

6€ 45 comprimés ~~12,20€~~

Vos 3 Cadeaux

LES 2 MUGS "VINTAGE"

OFFERTS

Contenance : 370 ml environ.
Taille du mug : diamètre haut : 8,8 cm ; diamètre base : 7,9 cm ; hauteur : 7,9 cm.

Les Frais de Port
Dès 15€ d'achat
OFFERTS — **0€**

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~12,00~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir BIO	~~15,10~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~11,80~~	5,00€
Safran BIO	~~17,40~~	7,00€
Tribulus	~~17,40~~	7,00€
LES 2 MUGS "VINTAGE"		OFFERTS
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~79,50~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des antidépresseurs. (5) Contient de la caféine (50 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (7) Ne pas associer avec des anticoagulants. (8) Possible effet laxatif. (9) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (10) Espacez la prise de vos médicaments d'au moins 2 heures. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....
Votre date d'anniversaire : |_|_| |_|_| 19|_|_|
E-mail* : .....
pour recevoir les **Offres promotionnelles par mail d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**
Recommandé pour la livraison.* de **ses partenaires ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**
N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Date d'expiration : |_|_| |_|_|
Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|
Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Charbon & Fenouil BIO	PCFB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Ail Noir BIO	PANB30		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Spiruline BIO	PSNB45		6€	
☐ Je reçois GRATUITEMENT mes 2 MUGS "VINTAGE" et mon CATALOGUE				OFFERTS
☐ Ma commande atteint 15€, j'économise 5,80€ sur les frais de port				OFFERTS
☐ Ma commande est inférieure à 15€, je rajoute 5,80€				
CODE PRIVILÈGE : CS435			TOTAL À RÉGLER	.....€

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Nanterre B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération de e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (BP 20015 - 75362 Paris Cedex 8 - relationconso@fevad.com). ADEME : FR202486_01JWKA Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS
*Envoyez votre **réglement par chèque**, **avec votre bon de commande**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad — synadiet — Traitement Rapide 24h COLISEO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi :
9h -13h et 14h -18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL - BP 60475
35171 BRUZ CEDEX

presse citron

Meilleur antivirus

★★★★★

01NET

Suite hyper complète

★★★★

PC EDITORS' CHOICE
PCMAG.COM

Choix de la rédaction

★★★★½

Téléchargez gratuitement sur avast.com/sciences

Bien plus qu'un simple antivirus

Avast One regroupe protection, confidentialité et performances.

N'oubliez pas de protéger votre smartphone.
Téléchargez gratuitement Avast One sur mobile

Avast One

© 2022 Copyright Avast Software